

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**FAKULTA STAVEBNÍ**



Disertační práce

**Optimalizace obvodového pláště dřevostaveb  
v pasivním standardu s výplňovými izolacemi**

**Optimization of wooden houses cladding  
in passive standard with infill insulation**

<b>Autor:</b>	<b>Ing. Jiří Labudek</b>
<b>Školitel:</b>	<b>Ing. Iveta Skotnicová, Ph.D.</b>
<b>Datum:</b>	<b>10/2012</b>
<b>Studijní obor:</b>	<b>3607V025 Teorie konstrukcí</b>
<b>Školící pracoviště:</b>	<b>229 - Katedra prostředí staveb a TZB</b>

Název:	Optimalizace obvodového pláště dřevostaveb v pasivním standardu s výplňovými izolacemi
Autor:	Jiří Labudek, Ing.
Místo, rok, vydání:	Ostrava, 2012, 1. vydání
Počet stran:	176
Vydala:	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
Katedra:	Katedra prostředí staveb a TZB 229
Tisk:	VŠB-TU Ostrava
Náklad:	5 ks
ISBN:	978-80-248-2880-0 (autoreferát)

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>PRÁVNÍ RÁMEC .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>FYZIKÁLNÍ RÁMEC .....</b>	<b>14</b>
4.1	FYZIKÁLNÍ PARAMETRY .....	14
4.2	FYZIKÁLNÍ RÁMEC VEDENÍ TEPLA .....	15
<b>5</b>	<b>METODY ŘEŠENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE .....</b>	<b>24</b>
5.1	LABORATORNÍ METODY .....	24
5.2	VÝPOČTOVÉ METODY .....	25
5.3	PRAKTICKÉ OVĚŘOVACÍ METODY .....	28
<b>6</b>	<b>TEPELNĚ TECHNICKÉ POŽADAVKY .....</b>	<b>29</b>
6.1	PRŮMĚRNÝ SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA .....	30
6.2	SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA KONSTRUKCÍ .....	31
6.3	LINEÁRNÍ ČINITEL PROSTUPU TEPLA .....	33
6.4	NEJNIŽŠÍ VNITŘNÍ POVRCHOVÁ TEPLOTA .....	34
6.5	ŠÍŘENÍ VLHKOSTI KONSTRUKCÍ .....	35
<b>7</b>	<b>SOUČASNÉ KONSTRUKČNÍ SOUSTAVY DŘEVOSTAVEB .....</b>	<b>38</b>
7.1	POŽADAVKY NA OBVODOVÉ PLÁŠTĚ .....	38
7.2	SOUČASNÝ STAV TECHNIKY .....	39
7.3	MATERIÁLY POUŽITÉ PRO KONSTRUKCI OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ .....	41
7.3.1	<i>Opláštěující deskové materiály na bázi dřeva .....</i>	<i>41</i>
7.3.1.1	Desky OSB .....	42
7.3.1.2	Desky VELOX .....	42
7.3.1.3	Desky Flexibuild .....	42
7.3.1.4	Desky Fermacell .....	43
7.3.1.5	Desky UdiSPEED .....	43
7.3.2	<i>Tepelné izolace .....</i>	<i>44</i>
7.3.2.1	Celulóza .....	48
7.3.2.2	Směs celulóza - sláma .....	51
7.3.2.3	Směs celulóza - konopí .....	52
7.3.2.4	Minerální vlákna .....	53
7.3.2.5	Dřevěná vlákna .....	54
7.3.2.6	Sláma .....	55
<b>8</b>	<b>TEPELNĚ VLHKOSTNÍ PARAMETRY CELULÓZY .....</b>	<b>56</b>
8.1	PROBLEMATIKA VLHKOSTI CELULÓZY .....	56
8.2	SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI CELULÓZY .....	70
<b>9</b>	<b>OPTIMALIZOVANÝ PRVEK OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ DŘEVOSTAVEB .....</b>	<b>83</b>
9.1	ZÁKLADNÍ POPIS OPTIMALIZOVANÉHO PROLAMOVANÉHO PRVKU .....	83
9.2	TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ VARIANT OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ .....	86
9.3	ZÁKLADNÍ POROVNÁNÍ ÚNOSNOSTI .....	98
<b>10</b>	<b>OVĚŘENÍ NAVRŽENÉHO OPTIMALIZOVANÉHO PRVKU .....</b>	<b>100</b>
10.1	SESEDÁNÍ CELULÓZOVÉ IZOLACE .....	100
10.2	SEGMENT OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ .....	103
10.3	SEGMENT ROHU OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ .....	104
10.4	SEGMENT OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ V OBLASTI OSAZENÍ OKNA .....	105
10.5	APLIKACE FOUKANÝCH IZOLACÍ .....	106
10.6	NOVÁ TECHNOLOGIE APLIKACE FOUKANÝCH IZOLACÍ .....	108
10.7	PROBLEMATIKA HOMOGENITY FOUKANÝCH IZOLACÍ .....	114

<b>11</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>122</b>
<b>12</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>124</b>
<b>13</b>	<b>PUBLIKAČNÍ ČINNOST .....</b>	<b>129</b>
<b>14</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>132</b>
14.1	DEKLAROVANÉ TEPELNÉ VODIVOSTI CELULÓZY.....	132
14.1.1	<i>Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2007 .....</i>	<i>132</i>
14.1.2	<i>Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2008 .....</i>	<i>132</i>
14.1.3	<i>Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2009 .....</i>	<i>133</i>
14.1.4	<i>Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2010 .....</i>	<i>134</i>
14.1.5	<i>Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2011 .....</i>	<i>135</i>
14.1.6	<i>Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2012 .....</i>	<i>136</i>
14.2	VÝSTUPNÍ PROTOKOLY Z 1D VÝPOČTŮ PRO OBVODOVÉ PLÁŠTĚ .....	136
14.3	VÝSTUPNÍ PROTOKOLY Z 1D VÝPOČTŮ PRO RŮZNÉ OBVODOVÉ PLÁŠTĚ .....	163
14.4	VÝSTUPNÍ PROTOKOLY Z 2D VÝPOČTŮ .....	170
14.5	VÝSTUPNÍ PROTOKOLY Z 3D VÝPOČTŮ .....	174



## Abstrakt

Disertační práce si klade za cíl minimalizovat tepelné mosty v obvodových pláštích dřevostaveb. Nový optimalizovaný dřevěný složený prvek snižuje objem použitého řeziva a zároveň přináší nový přístup v aplikaci foukaných izolací do obvodových plášťů budov.

Součástí práce je detailní analýza různých skladeb obvodových plášťů, kterých bylo dosaženo při vývoji optimalizovaného stěnového prvku pro dřevostavby. Část práce tvoří také výsledky testů aplikací foukané celulózové izolace v obvodovém plášti.

Disertační práce rekapituluje výsledky dvouletého vývoje. Celkovým cílem práce je posouzení a vyhodnocení optimalizovaného sloupkového prvku obvodových plášťů pro pasivní dřevostavby s výplňovými tepelnými izolacemi. Náplní disertační práce je shrnutí dosažených výsledků pro budoucí existenci nového konstrukčního systému pro snadné aplikace výplňových izolací, který bude vhodný pro sériovou výrobu pasivních budov.

Klíčová slova:

Celulóza, dřevěný nosník, výplňové izolace, obvodové pláště

## **Abstract**

This dissertation thesis aims to minimize thermal bridges in claddings of wooden buildings. A new optimized wooden composite element reduces the amount of timber and also brings a new approach in blown cellulose insulation application in building claddings.

Part of this dissertation thesis is a detailed analysis of the various cladding compositions, which have been achieved in the development of an optimized wall element for wooden buildings. This thesis consists of the tests results of blown cellulose insulation applications in a cladding.

The dissertation thesis recapitulates the results of two years development. The overall goal of this thesis is an assessment and evaluation of the optimized pillar element in claddings for passive wooden buildings with thermal insulation fillings. The aim of the thesis is a summary of the achieved results for the future existence of a new construction system for easy applications of infill insulation, which will be suitable for mass production of passive buildings.

### **Keywords:**

Cellulose, wooden beam, infill insulation, cladding

## Poděkování

V úvodu disertační práce bych rád vyslovil upřímné poděkování mojí školitelce Ing. Ivetě Skotnicové, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení, které se mi dostávalo v průběhu celého doktorského studia.

Poděkování patří, také firmě CIUR a.s. Brandýs nad Labem, která významně napomohla zpracování této disertační práce. Děkuji především za vstřícný přístup při provádění zkoušek, dodávky potřebného materiálu či rady odborníků.

Práce byla vytvořena za významného přispění celé řady projektů. Jedná se například o projekty:

- „Inovace a modernizace studijního oboru Prostředí staveb“
- „Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmu a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB TUO“.
- „Vzájemná spolupráce stavebních fakult v oblasti navrhování a posuzování dřevostaveb a dřevěných konstrukcí“
- „Partnerství v oblasti stavebnictví a architektury“
- SP2012/31 - Diagnostika vzduchotěsnosti budov s využitím statistických metod řízení kvality
- SP2011/182 - Gradient teploty a změna proudění vzduchu u transparentního pláště způsobené solárním zářením
- „AGENT“
- „Přeshraniční spolupráce vysokých škol v oblasti péče o kulturní památky a využití opuštěných průmyslových objektů“.

Velice rád bych poděkoval všem, kteří se mnou měli trpělivost, pomohli radou či dobrým slovem a během celého studia mi byli oporou.

Autor

## Prohlášení autora

I přesto, že jsem si pro svou vědeckou disertační práci zvolil téma recyklovaných, obnovitelných a ekologických materiálů, prohlašuji, že se bezmyšlenkově neztotožňuji s medializovanými environmentalistickými negativistickými scénáři. Souhlasím s částí názorů uvedených například v knize Prof. Václava Klause: Modrá nikoli zelená planeta [1]. Svou práci jsem se snažil zpracovat v duchu racionálního přístupu k budování lidských obydlí s minimalizovaným dopadem na okolní životní prostředí, které nám zanechali generace před námi.

Autor

# 1 ÚVOD

Stavebnictví využívá velké množství stavebních materiálů s vynikajícími vlastnostmi. Jejich výroba má však více či méně nepříznivé vlivy na životní prostředí. Zájem o zdravý životní styl vede stále více k používání přírodních stavebních materiálů. Na území současné České republiky lze sledovat celou řadu historických dokladů stavebnictví na bázi dřeva. Dřevo, jako jeden z mála materiálů, je považováno za nejstarší stavební materiál přírodního původu. V posledních dvaceti letech se stavby ze dřeva, či materiálů na bázi dřeva, dostávají do popředí zájmu investorů i veřejnosti. Dřevo se stále ve větší míře uplatňuje jako konstrukční obnovitelný materiál. Dřevo má řadu kladných vlastností: vzhledem k hmotnosti relativně vysokou pevnost, snadnou opracovatelnost, dobré tepelně technické vlastnosti, nespornou výhodou je i snadné odstranění dřevěné konstrukce po jejím morálním dožití. Pojítkem základních materiálů, se kterými je v disertační práci pracováno, je fakt, že mají svůj původ v českých lesích: rostlé konstrukční dřevo, dřevovláknité desky, celulóza, OSB desky atd. Životnost konstrukcí a staveb ze dřeva je závislá na tepelně vlhkostních poměrech ve vrstvách obvodového pláště, ve kterých je nosná dřevěná konstrukce zabudována. Pro zajištění spolehlivosti konstrukcí a staveb po dobu jejich předpokládané životnosti je nutný hlubší rozbor konstrukcí z pohledu komplexního tepelně technického hodnocení, což je nedílnou součástí disertační práce.

V poslední době je v České republice zvýšený zájem o výstavbu pasivních domů. Je to dáno především neustálým zvyšováním cen energií, ekologickým smyšlením, ale také propagací, vysvětlováním principů a výhod energeticky pasivních domů. V současné době je používání přírodních materiálů aktuálním tématem. Práce je zaměřena na aplikace ekologických materiálů a jejich efektivní využití v obvodových pláštích budov. Vyjma recyklované tepelné izolace jsou v obvodových pláštích použity i další recyklované materiály, např. sádrovláknité desky. Aplikací těchto materiálů v pasivní výstavbě lze dosáhnout ještě většího zefektivnění v oblasti trvale udržitelného rozvoje. Využívání recyklovaných stavebních materiálů lze zařadit k ekologickému stavebnictví. Základní myšlenkou je opět použít alespoň část z obrovského množství odpadů, které lidstvo produkuje.

Kvalitu vnitřního mikroklimatu s malými provozními náklady můžeme pozitivně ovlivnit použitím obvodových plášťů s difúzně otevřenou skladbou obvodového pláště. U těchto plášťů jsou vrstvy navrženy tak, aby umožnily prostup plynů a vodních par z interiéru budovy do exteriéru. U staveb na bázi dřeva, kde je obvodový plášť tvořen více vrstvami, musí být zajištěno použití vhodných materiálů, ale především musí být v konstrukci správně řazeny, aby zvýšené

množství difundující vodní páry nebylo příčinou degradace dřevěných prvků a ostatních přírodních materiálů použitých v obvodovém plášti budov. Ve skladbě těchto konstrukcí je ze strany interiéru použita vrstva s vysokým přesně definovaným difuzním odporem, omezující jednak difuzi vodních par a zároveň vstup ohřátého vlhkého vzduchu do konstrukce pláště budov. Směrem k exteriéru musí být vrstvy řazeny tak, že faktor difuzního odporu v obvodovém plášti tímto směrem klesá. Pro interiérovou i exteriérovou vrstvu jsou používány velkoplošné deskové materiály.

U objektů, projektovaných a realizovaných v současné době, bývá většinou podceněn význam konstrukčního i tepelně technického řešení obvodových plášťů. Čím vyšší požadavky na tepelně izolační vlastnosti stavebních konstrukcí klademe, tím významnější roli mají tepelné mosty. Při správném tepelně technickém návrhu konstrukce nestačí jen zvyšovat tloušťku tepelné izolace, ale musíme se snažit eliminovat tepelné mosty důslednou optimalizací konstrukce obvodových plášťů, což je náplní této disertační práce. Simulační metody v době projektové přípravy jsou prevencí pozdějších vad a poruch [9].

Požadavky normy ČSN 73 0540 - 2 [3] se stále zpřísňují a jednotlivé konstrukce tak musí vykazovat neustále nižší hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2.K$ ]. Zároveň s tím roste vliv tepelných mostů na celkovou tepelnou ztrátu objektu a tedy i důležitost pro nacházení řešení k jejich důsledné eliminaci. Stavební prvky vhodné pro pasivní domy se v posledních dvaceti letech díky technickému pokroku a snaze o inovaci neustále zlepšují. Základní náplní disertační práce je návrh a ověření konstrukce obvodového pláště pro stavby na bázi dřeva, které mají nosnou část umístěnou v tepelně izolační vrstvě. Součástí této práce je poskytnutí podkladů pro budoucí existenci nového konstrukčního systému se snadnou aplikací ekologických výplňových izolací, který bude vhodný pro sériovou výrobu nízkoenergetických a pasivních budov.



*Obr. 1 - Moderní dřevostavba v pasivním standardu s celulózovou tepelnou izolací.  
Žilina, SK.*

## 2 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce shrnuje výsledky přibližně dvouletého vývoje. Cílem práce je definice, analýza a vyhodnocení optimalizovaného sloupkového prvku obvodových plášťů pro pasivní dřevostavby s výplňovými tepelnými izolacemi. Celá práce je přednostně zaměřena na tepelně technickou problematiku.

Cíle disertační práce jsou shrnuty v základních bodech:

1. Definování a analýza tepelně technických parametrů výplňových vláknitých izolantů.
2. Vývoj optimalizovaného dřevěného prolamovaného prvku pro obvodové pláště dřevostaveb s výplňovými izolacemi.
3. Numerická tepelně technická analýza navržených optimalizovaných skladeb obvodových plášťů pro pasivní domy.
4. Vývoj nové aplikace foukaných izolací do obvodových plášťů dřevostaveb, definování specifik, experimentální ověření a zhodnocení.
5. Predikce dalšího vývoje.

### 3 PRÁVNÍ RÁMEC

Spotřeba energie trvale a exponenciálně roste a například dle prognózy IEA (2007) lze očekávat v období 2005 až 2030 nárůst světové spotřeby energie o 55 %. Prognóza VGB z téhož roku uvádí dokonce nárůst světové spotřeby energie o 85 % do roku 2020, přitom v zemích Evropské unie se předpovídá nárůst „pouze“ 30 %. V následujících letech bude tedy energie stále žádanějším a dražším zbožím. Na jedné straně toto povzbudí zájem o výzkum a vývoj nových a efektivnějších technologií, o hledání nových zdrojů a o celkovou racionalizaci hospodaření s energií, na druhé straně však vyvolá v mnoha případech ekonomické potíže znamenající další vážné ohrožení spolehlivosti dodávek a dostupnost energie. Zcela nereálná, a lze říci i nezodpovědná, by byla kalkulace se snížením absolutní spotřeby energie (viz prognózy a ověřená historická zkušenost) [14].

Snižování energetické náročnosti je cíl, který si Evropské společenství dalo již na počátku tohoto tisíciletí [4]. Podíl budov na celkové spotřebě energie v Evropské unii činí 40 %. Tento segment výrazně expanduje, což bude mít v budoucnu za následek zvýšení energetické spotřeby EU jako celku. V návaznosti na tuto prognózu byla v květnu 2010 schválena směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov - tzv. EPBD II nebo EPBD Recast [6]. EPBD II navazuje na směrnici 2002/91/ES tzv. EPBD I z roku 2002.

Členské země Unie jsou povinny nové požadavky zimplementovat do svých národních předpisů. Členské státy Evropského společenství mají povinnost stanovit požadavky na energetickou náročnost budov a prvků budov. Tyto požadavky by měly být stanoveny za účelem dosažení nákladově optimální rovnováhy mezi investicemi a náklady na energii uspořené během životního cyklu budovy.

V souvislosti s aktuálním zněním Evropské směrnice o energetické náročnosti budov je nutné do roku 2020 projektovat budovy s výrazně nižší energetickou spotřebou budov. Podle strategie Evropské unie by to do roku 2020 mělo přinést významné snížení emisí skleníkových plynů, zvýšení využití energie z obnovitelných zdrojů za celkového snížení spotřeby energie budov až o 20 %. Je tedy třeba přijmout opatření s cílem zvýšit počet budov, které nejenže splňují současné minimální požadavky na energetickou náročnost, ale jsou i energeticky účinnější, čímž dojde ke snížení spotřeby energie i emisí oxidu uhličitého. Za tímto účelem jsou členské státy nuceny vypracovat vnitrostátní plány na zvýšení počtu budov s téměř nulovou spotřebou energie.

Dle článku č. 9 [6] členské státy zajistí, aby do 31. prosince 2020 všechny nové budovy byly budovami s téměř nulovou spotřebou energie a aby po dni 31. prosince 2018 nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci byly také budovami s téměř nulovou spotřebou energie. Dle článku č. 2 se „budovou s téměř nulovou

spotřebou energie" rozumí budova, jejíž energetická náročnost je velmi nízká. Téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, včetně energie z obnovitelných zdrojů vyráběné v místě či v jeho okolí. Nová směrnice EPBD II tedy vyjadřuje extrémní zájem Evropského společenství o změnu v oblasti energetiky budov a vytyčuje velmi ambiciózní cíle.

Ve směrnici [6] je doporučeno dodržet zásadu, že nejprve je nutno zajistit, aby energetické potřeby v případě vytápění a chlazení byly sníženy na nákladově optimální úroveň, což přímo souvisí s tepelně izolační obálkou budovy. Minimalizace spotřeby energie projektovaných budov má tedy přímou návaznost na konstrukci tepelně izolačních obvodových plášťů, kterými se tato disertační práce přednostně zabývá. V EPBD II se dále uvádí, že větší renovace stávajících budov bez ohledu na jejich velikost představují příležitost pro přijetí opatření ke snížení energetické náročnosti, která budou efektivní z hlediska nákladů. Předmět disertační práce je možno využít také pro zlepšení tepelně izolačních parametrů při rekonstrukcích stávajících staveb.

Evropským trendem se tedy stávají nízkoenergetické či pasivní stavby s výhledovým cílem „budovy s téměř nulovou spotřebou energie“, například Velká Británie bude do roku 2016 vyžadovat svou verzi nulových budov „*zero-carbon house*“, tedy domů s nulovými emisemi CO<sub>2</sub>. Rakousko je zemí, kde již nyní přibližně 20 % novostaveb splňuje podmínky pasivních domů. Francie nastavila požadavky na spotřebu primárních energií od roku 2012 také zhruba na úroveň domu v pasivním energetickém standardu. Německo v současné době prosadilo plán nové energetické koncepce, která má zvýšit tempo rekonstrukcí objektů.

Do našeho právního systému se Směrnice zavádí především prostřednictvím zákona o hospodaření energií č. 318/2012 Sb. [34], kterým se od 1. 1. 2013 mění zákon č. 406/2012 Sb. [34], ve znění pozdějších předpisů. Zákon č. 406/2012 (č. 318/2012 Sb.) je základním právním předpisem v oblasti hospodaření s energií, který řeší některá opatření pro zvýšení hospodárnosti využití energie.

Požadavky tepelné ochrany budov jsou závazně zakotveny ve dvou okruzích předpisů:

- v zákoně č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu [35] (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- v zákoně č. 318/2012 Sb., kterým se mění zákon č. 406/2012 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů [34].

Obvodové pláště staveb musí vždy odpovídat tepelně technickým požadavkům na pláště budovy ve smyslu platné ČSN 73 0540 [3], kterou činí závaznou vyhláška č. 268/2009 Sb [36]. Právní rámec technické normalizace stanoví zákon



č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky [48]. Norma ČSN 73 0540-2 stanoví požadavky na šíření tepla, vlhkosti a vzduchu konstrukcemi a budovami. Norma [3] zajišťuje správné funkce:

- z hlediska stavební tepelné techniky - např. omezení, či úplné vyloučení kondenzace vodní páry, uvnitř konstrukce, nebo jejím povrchu, vyloučení tepelných mostů, atd.
- z hlediska mikroklimatu vnitřního prostředí - např. zajištění tepelné pohody obytných místností, zajištění potřebných parametrů vnitřního vzduchu dle požadavků, atd.
- z hlediska minimalizace energetické náročnosti objektu - minimalizace tepelných ztrát, využití tepelných zisků, atd.
- z hlediska vzduchotěsnosti - styky a spoje montovaných konstrukcí musí být utěsněny účinnými těsnícími materiály s požadovanou životností, které odolávají vlivu povětrnosti, dilatačním pohybům, atd.

Výše zmíněná norma definuje termín tzv. „pasivní budova; pasivní dům“. Jedná se o budovu s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění nepřekračující v případě rodinných domů 20 kWh/(m<sup>2</sup>.rok) a v ostatních případech nepřekračující 15 kWh/(m<sup>2</sup>.rok), splňující současně soubor dalších požadavků a podmínek hodnocení uvedených v A. 5.3 [3]. Detailní tepelně technické požadavky kladené na obvodové pláště budov dle [3] jsou podrobně popsány v kap. 6.

Jelikož se disertační práce úzce týká tzv. výplňových izolací, je nutné se držet normativních podmínek definovaných v ČSN EN 14064-1 [5]. Norma specifikuje požadavky na výrobky z minerální vlny, umístované in-situ foukáním do půdních prostor, dutin ve zděných stěnách a do trámových konstrukcí. Tato evropská norma specifikuje izolační výrobky před zabudováním. Popisuje charakteristiky výrobků a obsahuje postupy zkoušení a označování štítkem. Z názvu je zřejmé, že zmíněná norma [5] pojednává o materiálu na minerální bázi. V době zpracovávání této disertační práce neexistoval normativní dokument zabývající se izolacemi na bázi celulózy, což je stěžejní přírodní materiál pro téma této práce. Z tohoto důvodu norma [5] slouží pouze jako informativní dokument např. pro definování důležitých termínů.

## 4 FYZIKÁLNÍ RÁMEC

### 4.1 Fyzikální parametry

Pro základní tepelně technické výpočty je nezbytné mít k dispozici pro každý materiál jeho tepelnou vodivost, faktor difuzního odporu, objemovou hmotnost a měrnou tepelnou kapacitu. Poslední dva jmenované parametry je v naprosté většině případů možné převzít přímo z podkladů výrobce nebo z tabulek v ČSN 73 0540-3 [3]. U tepelné vodivosti a faktoru difuzního odporu je v některých případech nutný jejich výpočet.

Základní specifikace:

- Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K]. Součinitel tepelné vodivosti je fyzikálně tepelný parametr látky, který udává schopnost stejnorodého materiálu vést teplo. Definicí můžeme říci, že součinitel tepelné vodivosti tepla je množství tepla, které projde za jednotku času jednotkovou plochou izotermického povrchu, přičemž v tělese je jednotkový teplotní gradient. Měření tepelné vodivosti se provádí dle ČSN EN 12667 [42] při ustáleném toku tepla. Zkouškou lze stanovit součinitel tepelné vodivosti materiálu při dané laboratorní hmotnostní vlhkosti vzorku a při střední teplotě vzorku  $\theta_{stř} = 10^\circ \text{C}$ . Hodnoty získané pro celulózovou izolaci viz kap. 8.2. Měření součinitele tepelné vodivosti se provádí deskovým přístrojem, tzv. chráněnou topnou deskou, pro zkušební vzorky 500 x 500 mm a šířky 100 mm.
- Faktor difuzního odporu  $\mu$  [-] vyjadřuje relativní schopnost materiálu propouštět vodní páry difuzí. Je poměrem difuzního odporu materiálu a difuzního odporu vrstvy vzduchu v téže tloušťce, při definovaných podmínkách.
- Hustota (Particle density)  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] je definovaná jako poměr její hmotnosti  $m$  [kg] a objemu  $V$  [m<sup>3</sup>], který látka zaujímá. Tato veličina je použita pouze v kap. 4.2. Vzhledem k tématu disertační práce je v ostatních kapitolách přednostně použita objemová hmotnost materiálů.
- Objemová hmotnost (Bulk density)  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] je podíl hmotnosti a jeho objemu v prostoru nespojitě rozložené látky (pórovité, zpevněné, volně sypané) stanovený z vnějších rozměrů. Jedná se tedy o hmotnost objemové jednotky materiálu i s dutinami a póry. Objemová hmotnost je tedy veličina zaváděná pro pórovité a sypké látky.

- Měrná tepelná kapacita  $c$  [ $\text{J/kg.K}$ ] vyjadřuje, jaké množství tepla přijme 1 kg látky, když se ohřeje o  $1^\circ\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita je pro každou látku jiná. Výrazný je vliv vlhkosti na tepelnou kapacitu u tepelně izolačních materiálů ve vztahu k velikosti póru. Větší pórovitost odpovídá zvětšené schopnosti absorpce vody, a tím i růstu měrné tepelné kapacity (Tab. 8). Měrná tepelná kapacita je parametr materiálu, který v obvodových pláštích ovlivňuje stabilitu vnitřního prostředí stavby s ohledem na změny exteriérového prostředí budovy. Z pohledu měrné tepelné kapacity se tedy jeví výhodnější použití celulózové izolace ( $c = 1900 \text{ J/kg.K}$ ) oproti minerálním vláknům ( $c = 840 \text{ J/kg.K}$ ). Celulózové izolace oproti minerálním vláknům tedy zajišťují delší tzv. teplotní fázový posun. Měření měrné tepelné kapacity  $c$  se provádí deskovým přístrojem, tzv. chráněnou topnou deskou, pro vzorek o rozměrech  $300 \times 300$  a tloušťky 20 mm. Měří se tepelný výkon  $P$  [W] a teplotní nárůst  $\Delta\theta$  [K]. Měrná tepelná kapacita se stanoví podle následujícího vztahu (1):

$$c = \frac{P \cdot \tau}{m \cdot \Delta\theta} \quad [\text{J/kg.K}] \quad (1)$$

kde  $m$  je hmotnost [kg];

$\tau$  čas [s];

$P$  tepelný výkon [W];

$\Delta\theta$  teplotní nárůst [K].

## 4.2 Fyzikální rámec vedení tepla

Šíření tepla ve stavebních konstrukcích je složitý děj. Šíření tepla můžeme rozčlenit na tepelnou výměnu vedením (kondukcí), tepelnou výměnu prouděním (konvekcí) a tepelnou výměnu sáláním (zářením, radiací). Vedení tepla dělíme na:

- ustálené (stacionární) vedení tepla. Při stacionárním vedení je teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi tělesa stálý, tzn. nezávislý na čase,
- neustálené (nestacionární) vedení tepla. Při nestacionárním vedení dochází k postupnému vyrovnávání teplotních rozdílů mezi jednotlivými částmi tělesa.

Přenos tepla vedením v pevných látkách je transportem tepelné energie ve směru klesající teploty. Obecně je teplota  $\theta$  bodu tělesa nejen funkcí prostorových souřadnic  $x, y, z$ , ale i času  $\tau$  [8]:

$$\theta = f(x, y, z, \tau) \quad (2)$$

Nemění-li se teplota s časem tzn.  $\theta \neq f(\tau)$ , hovoříme o teplotním poli ustáleném - stacionárním.

$$\theta = f(x, y, z) \quad (3)$$

Transport tepla a vlhkosti je řízen rozdílným potenciálem dvou prostředí. Pokud existuje gradient teploty či tlaku vodních par, dochází k postupnému vyrovnání, teplot prostředí od soustavy s vyšší energetickou hodnotou k soustavě s nižší energetickou hodnotou. Většina studií o procesech tepelného transportu do značné míry s tímto tvrzením souhlasí, často však nepanuje shoda ohledně hodnot daných potenciálů a jejich parametrů.

Při popisu vedení tepla zavádíme řadu zjednodušení, které nám usnadňují tvorbu modelů pro matematický popis sledovaných dějů. Mezi základní nedostatky způsobených zjednodušením, které vnášejí do výsledků početních chyb, patří:

- Součinitel tepelné vodivosti nezávisí na obsahu vlhkosti.
- V řadě materiálů se vyskytuje kapilární nasákavost a pohyb kapalné vlhkosti, což může měnit rozložení vlhkosti.
- Použití pouze zjednodušeného homogenního materiálu v izotropním prostředí.
- Skutečné okrajové podmínky nejsou během měsíce konstantní.
- Všechny fyzikální vlastnosti materiálu jsou nezávislé na teplotě.

Velmi často v oblasti stavební tepelné techniky zavádíme zjednodušení, že stavební konstrukce jsou vystaveny stacionárnímu vedení tepla. Tento přístup je platný i pro tepelně technické výpočtové modely obsažené v této disertační práci. Toto zjednodušení vychází z předpokladu, že stavební konstrukce odděluje dvě prostředí s konstantními teplotami, které se v čase nemění. Početní řešení přenosu tepla vedením je založeno na zákonu zachování energie, který je aplikován na tepelně technické jevy [8].

Základní tepelně technické teoretické modely použité v disertační práci se přímo opírají o Fourierův zákon, který je považován za základní zákon vedení tepla. Zákon vyplývá z experimentálně zjištěných skutečností. Jean Batiste Joseph Fourier (1768 - 1830) při svých pokusech a měřeních zjistil, že teplo prošlé tělesem, izotropním v každém místě (tj. homogenním a izotropním vzhledem k přenosu

tepla), je přímo úměrné teplotnímu spádu, době a průtokové ploše kolmé na směr teplotního toku (*Obr. 2*).

Tepelný tok můžeme zapsat ve tvaru, který určuje množství tepla, které projde určitým objemem za jednotku času:

$$\phi = \frac{\partial Q}{\partial \tau} [W] \quad (4)$$

kde  $\tau$  je čas [s];

$Q$  teplo [J].

Hustota tepelného toku dle vztahu (5) říká, že hustota tepelného toku stanoví tepelný tok, který projde jednotkovou plochou kolmou ke směru šíření tepla, resp. množství tepla, které projde jednotkovou plochou za jednotku času. Můžeme tedy zapsat tvar:

$$q = \frac{\partial Q}{\partial S \cdot \partial \tau} [W / m^2] \quad (5)$$

Hustotu tepelného toku lze vyjádřit pomocí teplotního gradientu a součinitele tepelné vodivosti, který charakterizuje materiál, ve kterém šíření tepla probíhá. Pak platí Fourierův zákon pro jednorozměrné šíření tepla dle vztahu (6):

$$q = -\lambda \operatorname{grad} \theta = -\lambda \frac{\partial Q}{\partial x} [W / m^2] \quad (6)$$

Pro trojrozměrné šíření tepla lze zapsat:

$$q = -\lambda \operatorname{grad} \theta = -\lambda \left( \frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{\partial \theta}{\partial y} + \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) [W / m^2] \quad (7)$$

kde  $q$  je hustota tepelného toku [ $W / m^2$ ];

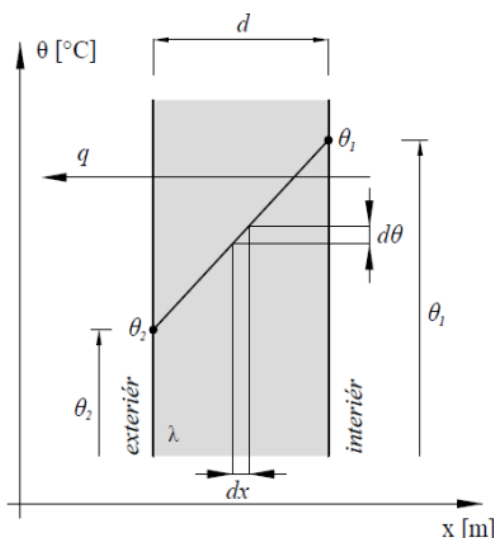
$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti [ $W / (m.K)$ ];

$\theta$  teplota [K];

$x$  souřadnice vyjádření polohy bodu v konstrukci [m].

Výraz (6) tedy udává vztah mezi hustotou tepelného toku  $q$  a teplotním gradientem  $\partial \theta / \partial x$ , přičemž platí přímá úměra, tj. hustota tepelného toku je tím vyšší, čím je vyšší teplotní gradient. Teplotní gradient ve směru poklesu teploty (se záporným znaménkem) se nazývá teplotní spád ( $-\partial \theta / \partial x$ ). Záporné znaménko

v rovnici (6) znamená, že se teplo šíří v materiálu opačným směrem než teplotní gradient, tj. přírůstek teploty v tomto směru je záporný (viz Obr. 2).



Obr. 2 - Sdílení tepla vedením jednovrstvou konstrukcí.

Ve vztahu (6) je novou veličinou  $\lambda$ , což je součinitel tepelné vodivosti  $W/m.K$ , který lze vyjádřit [26]:

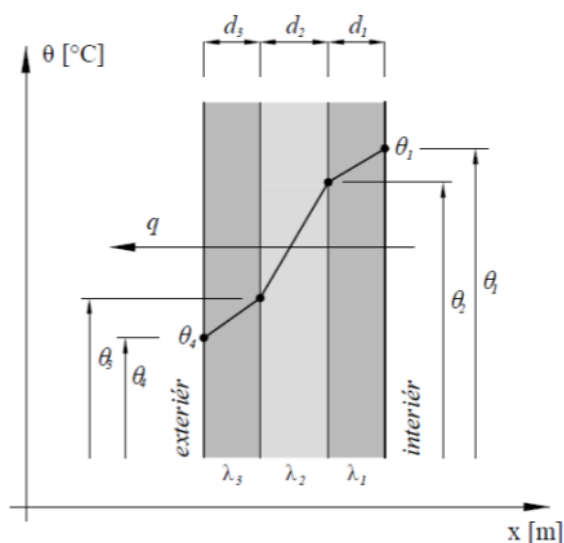
$$\lambda = - \frac{Q}{\text{grad } \theta \cdot S \cdot \tau} [W / m.K] \quad (8)$$

Součinitel tepelné vodivosti se většinou stanovuje experimentálně pro každou látku různými metodami - např. laserovou metodou, metodou topné desky, odporovou metodou apod. V každé experimentální metodě, kterou pro určení součinitele tepelné vodivosti použijeme, je nutné znát hustotu tepelného toku, resp. tepelný tok ( $q$ , resp.  $\Phi$ ), který prochází danou látkou a rozdíl teplot měřeného materiálu na dané tloušťce materiálu. Určení součinitele tepelné vodivosti je stěžejní pro matematické výpočty ohřevů a ochlazování materiálů, přestupů tepla a rovněž je důležitý jako vstupní veličina pro numerické simulace tepelně technických výpočtů. Hustota tepelného toku  $q$  proudícího jednovrstvou konstrukcí je vždy přímo úměrná rozdílu teplot na vnitřním a venkovním povrchu konstrukce a nepřímo úměrná tepelnému odporu konstrukce. V ustáleném teplotním stavu je tedy změna teploty v homogenním, izotropním tělese lineární (viz Obr. 2) a pro tloušťku  $d$  a teploty na povrchu konstrukcí  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  bude teplotní gradient v návaznosti na rovnici (6) ve tvaru [8]:

$$q = \lambda \cdot \frac{\Delta \theta}{d} \quad (9)$$

- kde  $\Delta\theta$  je rozdíl teplot ( $\theta_1 - \theta_2$ ) [ $^{\circ}\text{C}$ ];  
 $d$  tloušťka konstrukce [m];  
 $\lambda$  součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ];  
 $\theta$  teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ].

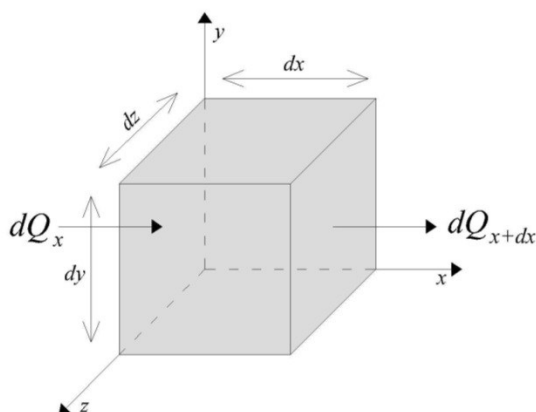
Ve většině tepelně technických posouzení v oblasti stavební tepelné techniky se setkáváme se situací, že máme rovinnou stěnu složenou z několika vrstev různé tloušťky a různé tepelné vodivosti při stejné průtokové ploše (viz Obr. 3)



Obr. 3 - Grafické zobrazení vícevrstvé konstrukce, poklesu teploty a tepelného toku.

Pro další početní postup je třeba definovat základní elementární objem  $dV$ :

$$dV = dx \cdot dy \cdot dz \quad (10)$$



Obr. 4 - Grafické zobrazení elementárního objemu pro odvození 1D vedení tepla.

Z výše uvedených vztahů (6) a grafického zobrazení (Obr. 4) můžeme dále odvozovat vstupující teplo do elementárního objemu  $dV$ :

$$dQ_x = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \cdot dS \cdot d\tau \quad (11)$$

při výstupním teple:

$$dQ_{x+dx} = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \cdot dS \cdot d\tau - \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) dx \cdot dS \cdot d\tau \quad (12)$$

pohlčené teplo v elementárním objemu  $dV$ :

$$dQ = dQ_x - dQ_{x+dx} \quad (13)$$

$$dQ_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) dV \cdot d\tau \quad (14)$$

Analogické vyjádření tepla lze hledat v kalorimetrické rovnici, která definuje, že teplo se spotřebuje pro zvýšení teploty celého elementu objemu  $dV$  tělesa o  $\partial \theta$  za čas  $d\tau$  dle vztahu:

$$dQ = dm \cdot c \cdot d\theta = \rho \cdot c_p \cdot dV \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \cdot d\tau \quad (15)$$

kde  $\rho$  je hustota [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

$c_p$  měrná tepelná kapacita při atmosférickém tlaku [ $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$ ].

Porovnáním vztahů (14) a (15) získáme rovnici (16), kterou lze dále upravit na vztah (17) a (18):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) dV \cdot d\tau = \rho \cdot c_p \cdot dV \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \cdot d\tau \quad (16)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = \rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \quad (17)$$

$$\lambda \cdot \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) = \rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \quad (18)$$



Zavedeme součinitele teplotní vodivosti  $a$ :

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \left[ m^2 / s \right] \quad (19)$$

Zápis je tedy zároveň konstantou úměrnosti - rychlost změny teploty tělesa je přímo úměrná součiniteli teplotní vodivosti. Součinitel teplotní vodivosti je termofyzikálním parametrem látky a charakterizuje rychlost změny teplotního pole - např. jak rychle se změní teplota na povrchu tělesa. Čím je hodnota  $a$  větší, tím rychleji se změna teploty na povrchu projeví uvnitř tělesa. Kovové látky mají větší součinitel teplotní vodivosti než nekovy [26].

Pro homogenní a izotropní těleso, za podmínek, že součinitel tepelné vodivosti nezávisí na teplotě či směru šíření tepla, a že se v tělese nenachází žádný zdroj tepla, má Fourierova parciální diferenciální rovnice pro jednorozměrné vedení tepla (Obr. 4) tvar:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (20)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \theta \quad (21)$$

kde  $\theta$  je teplota [K];

$\tau$  čas [s];

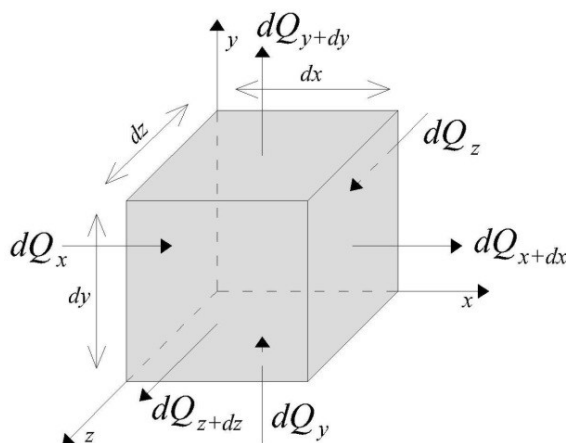
$a$  součinitel teplotní vodivosti [ $m^2/s$ ];

$x$  vzdálenost [m];

$\Delta$  operátor nabra;

$\nabla^2 = \Delta$  Laplaceův operátor.

Levá strana rovnic (20) a (21) vyjadřuje změnu teploty v tělese v závislosti na čase, pravá strana vyjadřuje místní změnu teploty v tělese.



Obr. 5 - Grafické zobrazení elementárního objemu pro odvození 3D vedení tepla.

Analogickým způsobem lze algebraicky popsat šíření tepla ve směrech osy y a z (Obr. 5) a následně sestavit trojrozměrnou Fourierovu rovnici vedení tepla, kterou lze zapsat ve formátu:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \quad (22)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \nabla^2 \theta \quad (23)$$

Fourierova rovnice vedení tepla je jednou ze základních rovnic pro přenosové jevy. Přenosovými jevy nazýváme přenos energie, přenos hmoty a přenos hybnosti.

Převod parciální diferenciální rovnice šíření tepla na soustavu lineárních rovnic se provádí obvykle metodou sítí nebo metodou konečných prvků.

V rámci disertační práce jsou používány početní numerické modely, pro které je stacionární vedení tepla definováno pomocí diferenciálních rovnic.

Pro jednorozměrné vedení tepla:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = 0 \quad (24)$$

Pro dvojrozměrné vedení tepla:

$$\left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (25)$$

Pro trojrozměrné vedení tepla:

$$\left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (26)$$

Dvě základní rovnice přenosových jevů se týkají úzce tématu disertační práce:

- Fourierův zákon (6), který pojednává o přenosu energie (tepla)
- Fickův zákon (difuze), který pojednává o přenosu hmoty (vlhkost)

K transportu vlhkosti v porézních materiálech může dojít buď ve formě vodní páry, nebo jako kapalné vody, nejčastěji však jako kombinace těchto dvou skupenství. Formy transportu vlhkosti závisí na pórové struktuře materiálu, ale také na podmínkách okolního prostředí. Tyto běžné transporty vodní páry bývají v odborné literatuře označovány jako difuze vodní páry.

Téma disertační práce se částečně dotýká také proudění tepla, tento stav je sledován obzvláště v pórovité struktuře celulózových materiálů. Často se jedná o přirozené proudění tepla v izolačním materiálu s otevřenou strukturou. Proudění tepla závisí na propustnosti, tloušťce a teplotním rozdílu. Hnací síla přirozeného proudění tepla je popsána modifikovaným Rayleighovo číslem  $Ra_m$ , což je bezrozměrné číslo, které lze formálně definovat:

$$Ra_m = \frac{g \beta \rho c_p}{\nu} \cdot \frac{d k \Delta \theta}{\lambda} [-] \quad (27)$$

kde  $g$  je tíhové zrychlení [ $m^2/s$ ];

$\beta$  součinitel tepelné roztažnosti vzduchu [K];

$\rho$  objemová hmotnost vzduchu [ $kg/m^3$ ];

$c_p$  měrná tepelná kapacita [ $J/kg.K$ ];

$\nu$  kinematická viskozita vzduchu [ $m^2/s$ ].

## 5 METODY ŘEŠENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Metody použité při řešení disertační práce si kladou za cíl posoudit a vyhodnotit veškeré možné aspekty související s optimalizací obvodového pláště dřevostaveb v pasivním standardu s výplňovými izolacemi. Pro vyhodnocení všech aspektů byly použity základní vědecké metody s deskriptivním přístupem. Cílem deskriptivního přístupu zvoleného pro řešení problematiky disertační práce je empirický rozbor již existujících znalostí, tak lze na základě důkazů získat nové poznatky a vědomosti v daném oboru. Pro řešení části cílů disertační práce byl zvolen proces konkretizace, kdy byl vyhledán základní model, od kterého se odvodila např. základní třída skladeb obvodových plášťů. Při hloubkové analýze byl zajištěn postupný přechod k dalším materiálovým řešením obvodových plášťů pro stavby na bázi dřeva. Výše zmíněná vědecká metoda je založena na předpokladu, že kritériem je souhlas prognózy s dosaženými výsledky výzkumu. Tento přístup zajišťuje trvalý kontakt vědecké teorie s reálnými výsledky, které byly ověřovány výpočtovými teoretickými analýzami a experimentálními či praktickými zkouškami, které si kladly za cíl syntézu poznatků. Vědecké metody pro ověřování výsledků při praktických zkouškách jsou omezeny na hypotézy, které jsou analyzovány primárním pozorováním dosažených výstupů. Téma disertační práce lze označit za základní výzkum v oblasti výplňových izolací a jeho aplikaci do stavební praxe. Induktivním procesem ze získaných dílčích rozborů byly vyvozeny obecné závěry, které mají obecnou platnost přesahující rámec této práce.

Metody řešení disertační práce, směřují ke splnění cílů (viz kap. 2), a lze je rozdělit na tři metody:

- Laboratorní metody
- Výpočtové metody
- Praktické ověřovací metody

### 5.1 *Laboratorní metody*

Metody používané pro získání konkrétních výsledků jsou zakotveny v normativních dokumentech České republiky. Laboratorní výsledky byly získány od CIUR a.s. Laboratorní zkoušky byly prováděny výhradně v Technickém a zkušebním ústavu stavebním (TZÚS). Měřen byl např. součinitel tepelné vodivosti či faktor difuzního odporu. Výsledky tepelně technických fyzikálních parametrů výplňových izolací z laboratorních zkoušek slouží jako doložitelný datový podklad použitý v disertační práci (kap. 8., 9. a 14.).

## 5.2 Výpočtové metody

Výpočtové metody lze pro konstrukce se systematickými tepelnými mosty rozdělit na přibližné a přesné [7].

### 1. Přibližné metody zahrnují:

- Metodu s použitím ekvivalentní hodnoty součinitele tepelné vodivosti pro nestejnorodou vrstvu obsahující tepelný most.
- Metodu z horní a dolní meze.
- Fokinovu metodu.

### 2. Přesné metody zahrnují:

- Metodu řešením vícerozměrného teplotního pole.

Přibližná metoda výpočtu s použitím ekvivalentní hodnoty součinitele tepelné vodivosti pro nestejnorodou vrstvu obsahující tepelný most je nejjednodušší způsob započtení vlivu tepelných mostů do výpočtu součinitele prostupu tepla. V disertační práci byla tato metoda použita pro posouzení obvodových plášťů v software TEPLO [45]. Nehomogenní vrstva v konstrukci (obvykle tepelně izolační) se nahradí vrstvou s ekvivalentní hodnotou součinitele tepelné vodivosti  $\lambda_{ev}$ , která je váženým průměrem součinitelů tepelných vodivosti jednotlivých materiálů dle vztahu (28). S takto získanou hodnotou součinitele tepelné vodivosti nehomogenní vrstvy  $\lambda_{ev}$  se pracuje standardním způsobem.

$$\lambda_{ev} = \frac{\lambda_1 \cdot A_1 + \lambda_2 \cdot A_2 + \dots + \lambda_n \cdot A_n}{A} \quad (28)$$

kde  $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$  jsou součinitele tepelné vodivosti jednotlivých materiálů vrstvy, [W/(m·K)];

$A_1, A_2, \dots A_n$  plocha materiálů v charakteristickém výseku nehomogenní vrstvy, v [m<sup>2</sup>].

Pro tepelně technická vyhodnocení v rámci této práce budou přednostně používány přesné metody za pomoci níže zmíněných počítačových programů. Kritická místa je potřebné řešit modelováním vícerozměrného teplotního pole, tzn. alespoň dvojrozměrného, v některých případech trojrozměrného teplotního pole [9]. Tepelné mosty vyvolávají tří nebo dvourozměrné tepelné toky, které lze stanovit numerickými výpočtovými metodami. Výsledkem je řešení teplotního pole plošného (2D) pro neměnný charakteristický výsek literárním tepelným mostem nebo lineární vazbou či obecně prostorového (3D) pro případy, kdy nelze uvažovat jednorozměrné ani dvojrozměrné šíření tepla. V mnoha případech poskytují dostatečně přesné výsledky numerické metody 2D řešení tepelného toku, ale také

zjednodušené metody, které jsou sice méně přesné, ale jednodušší. V disertační práci jsou použity veškeré zmíněné výpočetní metody. Řešení teplotního pole konstrukce je dále potřebné pro zjištění nejnižší vnitřní povrchové teploty u složitějších případů tepelných mostů a tepelných vazeb, při výpočtu součinitele prostupu tepla u složitějších konstrukcí. Teplotní pole konstrukce se zjišťuje výpočtem a popisuje rozložení teplot ve vyšetřované oblasti konstrukce. Výpočet je proveden převodem eliptické parciální diferenciální rovnice šíření tepla v ustáleném teplotním stavu na soustavu lineárních rovnic s řešením této soustavy. Převod parciální diferenciální rovnice šíření tepla na soustavu lineárních rovnic se provádí obvykle metodou sítí nebo metodou konečných prvků.

Přesné metody výpočtu jsou založeny na numerickém řešení teplotního pole nehomogenní konstrukce vícerozměrného teplotního pole. Použitím zákona zachování energie a Fourierova zákona pro dvourozměrné teplotní pole se získá soustava rovnic, které jsou funkcí teplot v uzlech. Řešením soustavy rovnic metodou konečných prvků, se získají teploty v uzlech, z nichž je stanoveno teplotní pole. Přesné metody jsou řešeny specializovanými programy - pro posouzení součinitele prostupu tepla konstrukce s vlivem lineárních tepelných mostů např. AREA [46] a pro posouzení součinitele prostupu tepla konstrukce s vlivem bodových tepelných mostů např. CUBE 3D [47].

Program TEPLO umožňuje výpočet základních tepelně technických parametrů stavebních konstrukcí podle ČSN EN ISO 6946 [55], ČSN EN ISO 13788 [10] a ČSN 73 0540 [3]. Program provádí výpočet tepelného odporu, součinitele prostupu tepla, vnitřní povrchové teploty, teplotního faktoru, teplotního útlumu, poklesu dotykové teploty podlahové konstrukce a roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry. Výpočet celoroční bilance vodní páry je v programu proveden jednak podle evropské metodiky předepsané v ČSN EN ISO 13788 a jednak podle tradiční národní metodiky uvedené v ČSN 730540-4. Program je současně schopen do obou zmíněných bilancí zahrnout případ povrchové kondenzace a vypařování z vnitřního povrchu.

Program AREA [46] je určen pro výpočet stacionárního dvourozměrného pole teplot a tlaků vodní páry a přibližné celoroční bilance vodní páry v oblasti pole. Program je zaměřen především na problémy kondenzace, a tedy na zatížení detailu nízkou teplotou. Program rovněž umožňuje výpočet tepelných toků pro posouzení součinitele prostupu tepla konstrukce s vlivem lineárních tepelných mostů. Geometrie detailu a vlastnosti jeho dílčích částí se zadávají podle pravidel pro modelování tepelných mostů. Na základě vypočtené hodnoty hustoty tepelného toku  $\Phi$  [W/m] a rozdílu teplot prostředí se stanoví hodnota lineární tepelné propustnosti  $L^{2D}$  [W/m.K], ze vztahu:

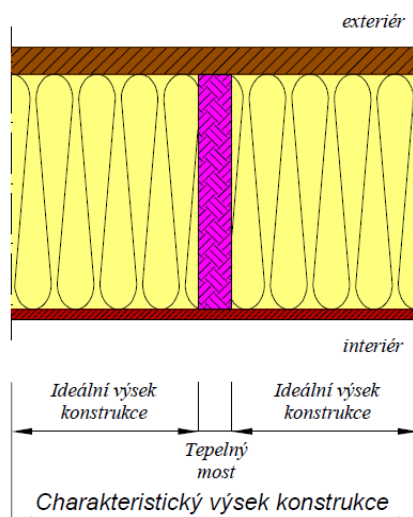
$$L^{2D} = \frac{\Phi}{(\theta_i - \theta_e)} \quad (29)$$

Pro konstrukci, kterou lze plně popsat pravidelně se opakujícími charakteristickými výseky (viz. Obr. 9), se součinitel  $U$  [W/(m<sup>2</sup>.K)] stanoví na sledovaném charakteristickém výseku ze vztahu:

$$U = \frac{L^{2D}}{b} \quad (30)$$

kde  $b$  je šířka charakteristického výseku [m];

$L^{2D}$  lineární tepelná propustnost [W/(m.K)].



Obr. 6 - Grafické zobrazení tepelného mostu v charakteristickém výseku konstrukce obvodového pláště.

Program CUBE 3D [47] umožňuje výpočet třírozměrného stacionárního pole teplot a částečných tlaku vodní páry a přibližné roční bilance vodní páry ve stavebních detailech. Program rovněž umožňuje výpočet tepelných toků tepelnými mosty. Výpočet stacionárního třírozměrného pole je proveden pomocí metody konečných prvků. Pro stanovení součinitele prostupu tepla z trojrozměrného teplotního pole se výsledná hodnota stanoví ze vztahu:

$$U = \frac{L^{3D}}{A} \quad (31)$$

kde  $A$  je plocha charakteristického výseku [m<sup>2</sup>];

$L^{3D}$  plošná tepelná propustnost [W/K].

### 5.3 Praktické ověřovací metody

Při vývoji optimalizovaného nosného prolamovaného dřevěného prvku pro obvodové pláště dřevostaveb v pasivním standardu bylo přistoupeno k praktickým ověřovacím metodám. Vědecké metody pro ověřování výsledků při praktických zkouškách jsou omezeny na předběžné hypotézy, které vznikaly na základě zkušeností s aplikacemi foukaných izolací do klasických sloupkových dřevostaveb. Jelikož je předmětem disertační práce základní vývoj dřevěného prvku obvodových plášťů nebylo možno provést korektní zkoušku „*in-situ*“, tzn. při konkrétní výstavbě budovy, byla tedy tato zkouška nahrazena sérií zkoušek prováděných na testovacích elementárních částech obvodových plášťů. Byl tedy proveden empirický rozbor již existujících znalostí a zkušeností, které byly přeneseny do praktických ověřovacích metod základních segmentů obvodových plášťů dřevostaveb. Na segmentech byla zkoušena dokonalá aplikace homogenity foukaných izolací či sesedání izolačního materiálu v obvodovém plášti stavby. V době zpracovávání disertační práce neexistoval normativní dokument zabývající aplikacemi foukaných izolací do optimalizovaného pláště dřevostaveb. Nejjistější cestou pro získání potřebných výsledků a zkušeností bylo opakování praktických zkoušek. Praktickými ověřovacími metodami a analýzou primárních výsledků jsou získány nové poznatky a vědomosti z oblasti aplikací foukaných izolací. Induktivním procesem ze získaných dílčích rozborů jsou vyvozeny obecné závěry, které mají platnost přesahující rámec této práce.



## 6 TEPELNĚ TECHNICKÉ POŽADAVKY

ČSN 73 0540 - 2 [3] stanovuje tepelně technické požadavky pro navrhování a ověřování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání, které zajišťují plnění základních požadavků na stavby, zejména hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu budov a zajištění ochrany zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí.

Cílem konstrukční stránky tepelně technického návrhu je zajištění celistvého izolačního obalu budovy. Norma definuje požadavky:

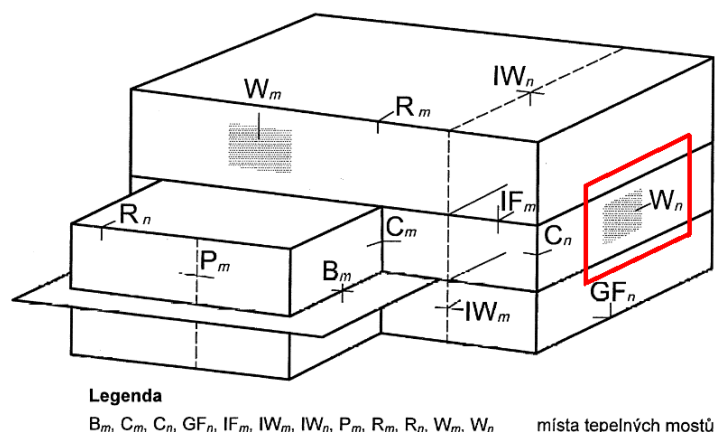
- Součinitel prostupu tepla konstrukcí  $U$  [ $W/(m^2.K)$ ];
- Nejnižší vnitřní povrchová teplota  $f_{Rsi}$  [-];
- Lineární a bodový činitel prostupu tepla  $\psi_k$  [ $W/(m.K)$ ],  $x_j$  [ $W/K$ ];
- Pokles dotykové teploty podlahy  $\Delta\theta_{10}$  [ $^{\circ}C$ ];
- Šíření vzduchu konstrukcí a budovou  $n$  [ $h^{-1}$ ];
- Šíření vlhkosti konstrukcí  $M_c$ ,  $M_{ev}$  [ $kg/(m^2.a)$ ];
- Tepelná stabilita místnosti  $\Delta\theta_{v,(t)}$  [ $^{\circ}C$ ],  $\theta_{ai,max}$  [ $^{\circ}C$ ];
- Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  [ $W/(m^2.K)$ ].

Pro ověření shody s technickými požadavky dle [3] se používají:

- návrhové hodnoty veličin charakterizující chování konstrukce, místnosti a budovy stanovené za podmínek pro vstupní údaje uvedené v [3] v jejích normativních odkazech;
- výpočtové metody a postupy podle ČSN 73 0540-4 [3] a jejích normativních odkazů;
- zkušební metody a postupy podle platných norem respektující podmínky v ČSN 73 0540-3 [3].

Dále jsou detailněji probrány pouze ty požadavky, které přímo souvisí s tématem této disertační práce.

Téma disertační práce je přednostně zaměřeno na řešení a eliminaci tepelných mostů, které lze dle [10] definovat jako typ  $W_n$ , viz Obr. 7.



Obr. 7 - Budova s vyobrazením polohy a typu běžně se vyskytujících tepelných mostů. [10]

### 6.1 Průměrný součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla se hodnotí současně dvěma způsoby: pro jednotlivé konstrukce pomocí  $U$  [ $W/m^2.K$ ] dle 5.2.1. [3] a pro budovu jako celek podle 5.3. [3] pomocí průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$ . Oba požadavky musí být splněny současně.

Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  [ $W/m^2.K$ ], budovy musí splňovat podmínku:

$$U_{em} \leq U_{em,N} \left[ W/m^2 K \right] \quad (32)$$

kde  $U_{em,N}$  je požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla [ $W/m^2.K$ ]

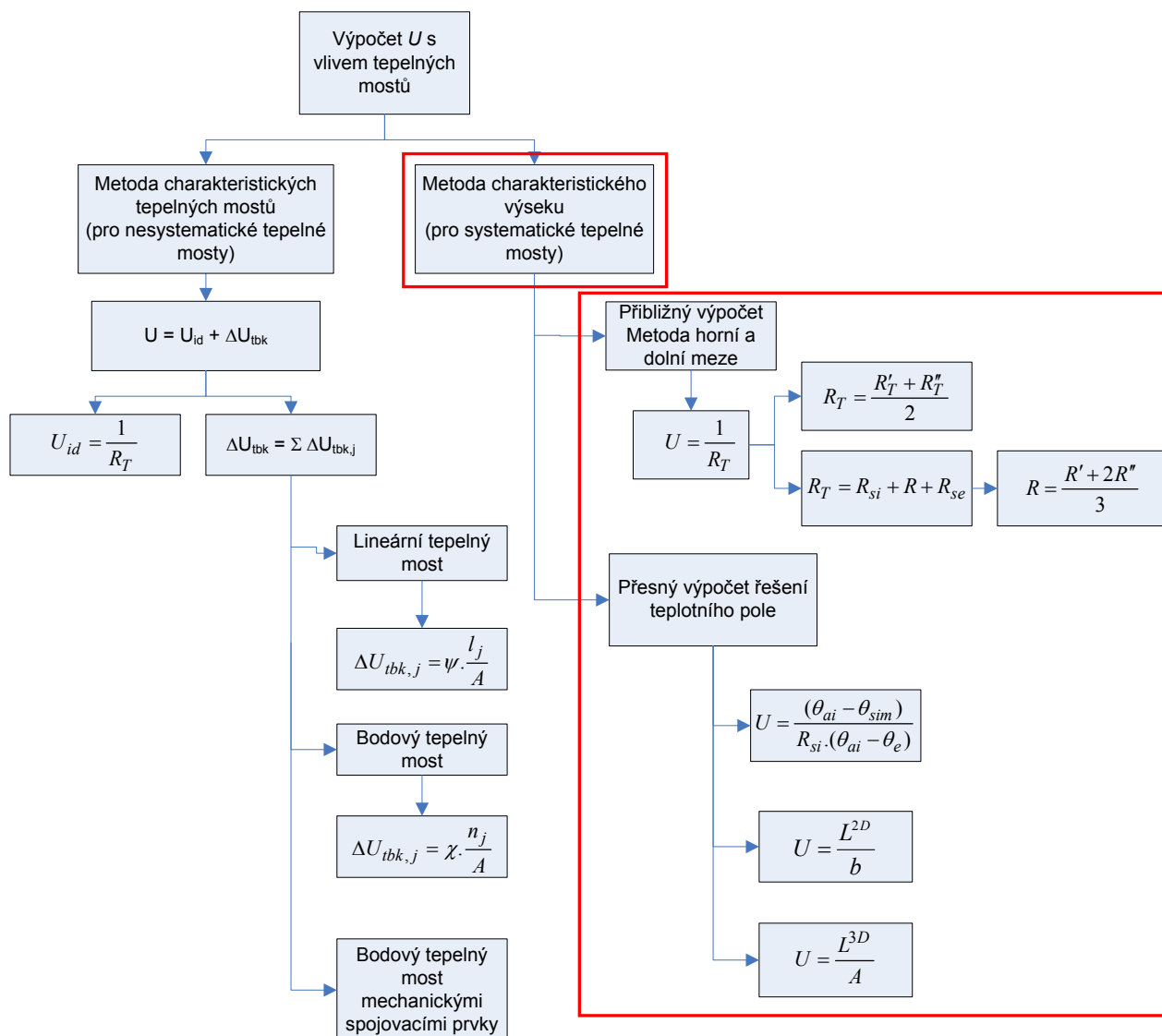
Průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  má dle [3] přímou návaznost na tzv. geometrickou charakteristiku budovy, který tvarové řešení budovy. Jelikož se velmi úzce dotýká tématu disertační práce, je zde uveden základní popis. Nejsnáze se geometrická charakteristika budovy vyjadřuje objemovým faktorem tvaru  $A/V$ , tj. poměrem mezi ochlazovanou plochou obálky budovy a vytápěným objemem budovy. Závislost půdorysné plochy  $A_p$  [ $m^2$ ] a velikost exponované plochy podlahy  $P$  [ $m$ ] a tedy i následné plochy obálky budovy  $A$  [ $m^2$ ] má prokazatelný vliv jak na tepelné ztráty objektu, tak i faktor  $A/V$  [54]. Z toho plyne, že pasivní dům by měl mít minimum vnějších ploch vzhledem ke svému objemu. Zalomení fasády, balkony, arkýře, vikýře, věžičky, apod. zvětšují ochlazovanou plochu obvodového pláště a tím i tepelné ztráty objektu. Kompaktnější a jednodušší tvar budovy jsou předpokladem nižší potřeby energie na vytápění a naopak. Pro dosažení měrné potřeby energie na vytápění 20 kWh/ $m^2$ .rok (hraniční hodnota uváděná pro pasivní domy) je vhodné dosáhnout geometrické charakteristiky budovy  $A/V < 0,7$ .

Celková kompaktnost a jednodušší tvary staveb rozšiřují možnosti výplňových izolací, včetně nového přístupu k samotné aplikaci foukaných tepelných izolací, což je nedílnou součástí této disertační práce.

## 6.2 Součinitel prostupu tepla konstrukcí

Součinitel prostupu tepla konstrukcí  $U$  [W/m<sup>2</sup>K] vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi prostory oddělenými od sebe danou konstrukcí o tepelném odporu  $R$ .

Stanovením součinitele prostupu tepla  $U$  se hodnotí ustálený tepelný tok prostupující celými konstrukcemi, prvky nebo díly, včetně případného vlivu tepelných mostů v nich zabudovaných. Vliv tepelných mostů v konstrukci lze při hodnocení podle [3] zanedbat, pokud jejich souhrnné působení je menší nebo rovno 5 % hodnotě součinitele prostupu tepla. Hodnoty doporučené pro pasivní budovy se použijí zejména pro předběžný návrh konstrukcí pasivní budovy (Tab. 1).



Obr. 8 - Grafické rozdělení metod pro výpočet součinitele prostupu tepla s vlivem tepelných mostů.

Konstrukce vytápěných budov musí mít v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi < 60 \%$  součinitel prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>.K] takový, aby splňoval podmínku:

$$U \leq U_N \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad (33)$$

kde  $U_N$  je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [W/m<sup>2</sup>.K].

Pro výpočty a posouzení stavebních konstrukcí je vždy nutné počítat s okrajovými podmínkami. V disertační práci jsou uvažovány okrajové výpočtové podmínky vnějšího prostředí pro město Ostrava.

Tepelný most je místo v konstrukci, kde dochází k větším tepelným tokům než v bezprostředním okolí tohoto místa. Jde tedy o místa, kudy uniká na jednotku plochy mnohem více tepelné energie než okolní konstrukcí při stejné ploše. Tepelné mosty mohou být systematické, nesystematické nebo se může jednat o tepelné vazby. Tepelné mosty dělíme na lineární, což je např. montážní spára při osazování okna, a bodové, což může být kotevní hmoždinka zateplovacího systému. Vliv tepelných mostů na celkovou tepelnou ztrátu objektu roste s rostoucími požadavky na tepelnou ochranu budov. Zanedbáním tohoto vlivu by došlo k výraznému nadhodnocení obvodové konstrukce z tepelně technického hlediska.

Pro všechny početní analýzy byla pro jasnější průkaznost výsledků zavedena jednotná šířka charakteristického výseku  $b = 0,6$  m.



Obr. 9 - Grafické zobrazení tepelného mostu v charakteristickém výseku konstrukce.

Tab. 1 - Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla stěny vnější pro budovy s převažující vnitřní teplotou  $\theta_{im}$  v intervalu 18 °C až 22 °C včetně [3].

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	

### 6.3 Lineární činitel prostupu tepla

Lineární činitel prostupu tepla je v ČR poměrně nová veličina, která charakterizuje tepelně technické vlastnosti dvourozměrných tepelných mostů a vazeb. Vyjadřuje množství tepla ve W, které prochází při jednotkovém teplotním rozdílu jednotkovou délkou tepelného mostu. Požadavky na lineární činitel prostupu tepla uvádí [3] v čl. 5.2.5. Pro každou tepelnou vazbu mezi konstrukcemi musí být splněna podmínka:

$$\psi_k \leq \psi_{k,N} \quad [W / m.K] \quad (34)$$

kde  $\psi_k$  je lineární činitel tepelné vazby mezi konstrukcemi  $[W/(m.K)]$ ;

$\psi_{k,N}$  požadovaná hodnota lineární činitel prostupu tepla  $[W/(m.K)]$ .

Pro tepelné vazby v běžných objektech s převažující návrhovou vnitřní teplotou  $\theta_{im}$  od 18 °C do 22 °C (včetně) se používají tabulkové hodnoty, viz Tab. 2.

Tab. 2 - Požadovaný lineární činitel prostupu tepla  $\psi_{k,N}$  dle [3]

Typ lineární tepelné vazby	Lineární činitel prostupu tepla $\psi_{k,N} [W/m.K]$		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
Vnější stěna navazující na další konstrukci s výjimkou výplně otvorů (na základ, strop nad nevytápěným suterénem, jinou stěnu, balkon apod.)	0,20	0,10	0,05
Vnější stěna navazující na výplň otvoru (okno, dveře, vrata apod.)	0,10	0,03	0,01
Střecha navazující na výplň otvoru (střešní okno, světlík)	0,30	0,10	0,02
Typ bodové tepelné vazby	Bodový činitel prostupu tepla $\chi_{j,N} [W/K]$		
Průnik tyčové konstrukce (sloupy, nosníky, konzoly) vnější stěnou, podhledem nebo střechou	0,40	0,10	0,02

Orientační (tabulkové) hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla jsou uvedeny pro vybrané detaily v ČSN EN ISO 14683 [37]. Jejich použití je omezené pravidly uvedenými v citované normě a je pochopitelně vždy zatíženo chybou (až  $\pm 20 \%$ ). Lineární činitel prostupu tepla lze také vypočítat a získat tak jeho dosti přesnou hodnotu. Pro detaily, na které působí pouze dvě okrajové teploty, se lineární činitel prostupu tepla určí ze vztahu:

$$\psi = L - \sum U_j \cdot b_j \text{ [W / m.K]} \quad (35)$$

kde  $L$  je vypočtená tepelná propustnost hodnoceným detailem [W/(m.K)];  
 $U_j$  součinitel prostupu tepla j-té dílčí plošné konstrukce [W/(m<sup>2</sup>.K)];  
 $b_j$  šířka j-té konstrukce [m].

#### 6.4 Nejnižší vnitřní povrchová teplota

Vnitřní povrchovou teplotu konstrukce ovlivňuje zejména její skladba, teplotní rozdíl mezi vnitřní a venkovní návrhovou teplotou vzduchu a odpory při přestupu tepla na povrchu konstrukce. Vnitřní povrchová teplota se hodnotí v poměrném tvaru jako teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  [-]. Výpočty pro stanovení teplotního faktoru vnitřního povrchu jsou odlišné pro různé konstrukce. V místě tepelného mostu dochází v důsledku zvýšeného tepelného toku vždy k poklesu vnitřní povrchové teploty, která bude v tomto místě vždy nižší než v ideálním výseku obvodového pláště budovy. Pro plošně homogenní konstrukce lze použít jednoduché výpočetní vztahy. Přesnost přibližné metody výpočtu se pohybuje zhruba kolem  $\pm 20$  %. Pro konstrukce s tepelnými mosty a v místech tepelných vazeb konstrukcí, kde dochází k vícerozměrnému šíření tepla, je nutné pro dosažení přesného výsledku použít numerické metody pro řešení parciální diferenciální rovnice vedení tepla (1D, 2D, 3D), které jsou přednostně použity v této disertační práci. Pro stanovení nejnižší vnitřní povrchové teploty konstrukce v místě tepelného mostu nebo vazby konstrukcí je nutné rozdělit konstrukci pomocí řezových rovin na dílčí geometrické modely (charakteristický výsek konstrukce viz Obr. 9). Pravidla modelování konstrukce popisuje podrobně ČSN EN ISO 10211 [29]. Splněním normového požadavku se zabrání vzniku povrchové kondenzace a možnému riziku vzniku plísní, které se mohou objevit na konstrukci již při 80 % povrchové relativní vlhkosti. V zimním období musí konstrukce v prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 60$  % vykazovat v každém místě (v ploše, v místě tepelného mostu či tepelné vazby) teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  dle vztahu:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} \quad (36)$$

kde  $f_{Rsi,cr}$  je kritický teplotní faktor vnitřního povrchu [-];  
 $f_{Rsi,cr,N}$  požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu [-], stanovená dle Tab. 3.

Tab. 3 - Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi,cr}$  pro návrhovou relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $\varphi_i = 50 \%$  [3]

Konstrukce	Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai}$ [°C]	Návrhová venkovní teplota $\theta_e$ [°C]								
		-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
		Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$								
Stavební konstrukce	20,0	0,748	0,746	0,744	0,751	0,757	0,764	0,770	0,776	0,781
	20,3	0,750	0,747	0,745	0,752	0,759	0,765	0,771	0,777	0,782
	20,6	0,751	0,749	0,747	0,754	0,760	0,766	0,772	0,778	0,783
	20,9	0,753	0,751	0,748	0,755	0,762	0,768	0,773	0,779	0,784
	21,0	0,753	0,751	0,749	0,756	0,762	0,768	0,774	0,779	0,785

Tab. 4 - Teplota odpovídající kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi,cr}$  pro návrhovou relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $\varphi_i = 50 \%$  [3]

Konstrukce	Návrhová teplota vnitřního vzduchu $\theta_{ai}$ [°C]	Návrhová venkovní teplota $\theta_e$ [°C]								
		-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
		Teplota odpovídající kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$								
Stavební konstrukce	20,0	11,68	11,36	11,04	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02
	20,3	11,98	11,62	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30	11,30
	20,6	12,23	11,92	11,59	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58	11,58
	20,9	12,53	12,21	11,85	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86
	21,0	12,60	12,29	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96

## 6.5 Šíření vlhkosti konstrukcí

Vodní páry obsažené ve vzduchu mají podobnou schopnost procházet stavebními konstrukcemi jako tepelný tok. Jestliže k objasnění toku tepla je potřebný gradient teploty, k toku vodních par je nevyhnutelný gradient částečných tlaků vodních par. Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry se stanoví buď výpočtem po měsících [10], který vyžaduje měsíční hodnoty klimatických údajů, nebo jako rozdíl ročního množství zkondenzované vodní páry  $M_c$  a ročního množství vypařené vodní páry  $M_{ev}$  [3]. Splnění požadavků na šíření vlhkosti konstrukcí je určeno zejména pro konstrukce s dřevěnými prvky (či z organických materiálů), ve kterých by případná kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce  $M_c$  [kg/m<sup>2</sup>.rok] mohla způsobit trvalé poškození a mohla by ohrozit její funkci. Všechny konstrukce musí být navrženy tak, aby je zkondenzovaná vodní pára neohrozila.

Pro stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce  $M_c$  [kg/m<sup>2</sup>.rok] mohla ohrozit její požadovanou funkci nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce tzn.:

$$M_c = 0 \quad (37)$$

Pro stavební konstrukci, u které kondenzace vodní páry uvnitř neohrozí její požadovanou funkci, se požaduje omezení ročního množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce  $M_c$  [kg/m<sup>2</sup>.rok] tak, aby splňovalo podmínku:

$$M_c \leq M_{c,N} \quad (38)$$

kde  $M_c$  je množství zkondenzované vodní páry; [kg/m<sup>2</sup>.rok]

$M_{c,N}$  množství zkondenzované vodní páry dané normou; [kg/m<sup>2</sup>.rok]

Pro jednoplášťové střechy, konstrukce s vnějším tepelně izolačním systémem, vnějším obkladem nebo konstrukci s difúzně málo propustnými vnějšími vrstvami:

- $M_{c,N} = 0,10$  kg/(m<sup>2</sup>.rok) nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než 100 kg/m<sup>3</sup>, pro materiál s objemovou hmotností nižší a rovnu 100 kg/m<sup>3</sup> se použije 6 % jeho plošné hmotnosti.

Pro ostatní stavební konstrukce:

- $M_{c,N} = 0,50$  kg/(m<sup>2</sup>.rok) nebo 5 % plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než 100 kg/m<sup>3</sup>, pro materiál s objemovou hmotností nižší a rovnu 100 kg/m<sup>3</sup> se použije 10 % jeho plošné hmotnosti.

V obvodovém plášti v průběhu roku nesmí v konstrukci s připuštěnou omezenou kondenzací vodní páry uvnitř obvodového pláště zůstat žádné zkondenzované množství vodní páry, které by trvale zvyšovalo vlhkost konstrukce a zhoršovalo tepelně izolační vlastnosti konstrukce [7]. Norma [3] uvádí, že při zabudování dřeva nebo materiálů na bázi dřeva do stavebních konstrukcí, je nutné dodržet jeho dovolenou vlhkost. Překročí-li za normových podmínek užívání rovnovážná hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva 16 %, je požadovaná funkce konstrukce ohrožena. Při kondenzaci na rozhraní vrstev se pro stanovení hodnoty požadavku podle 6.1.2 [3] uvažuje nižší z hodnot plošné hmotnosti příslušných materiálů, viz posouzení skladeb obvodových plášťů.



Celoroční množství zkondenzované vodní páry  $M_c$ , popř. celoroční množství vypařené vodní páry  $M_{ev}$  [3] se stanoví na základě opakovaného výpočtu dílčích množství  $M_c$  *pro jednotlivé teploty vzduchu*  $\theta_e$ , které při kroku  $\Delta\theta_e = 5\text{ °C}$  pokrývají rozsah teplot venkovního vzduchu v celoročním průběhu. Celoroční množství zkondenzované vodní páry  $M_c$  je přitom součtem nezáporných hodnot dílčích množství  $M_{a,j}$ . Celoroční množství vypařené vodní páry  $M_{ev}$  je součtem záporných hodnot dílčích množství  $M_{a,j}$ . Výpočet celoroční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce [10] se provádí po jednotlivých měsících, uvažují se průměrné měsíční teploty a vlhkosti v interiéru i exteriéru. Zjišťuje se první měsíc, ve kterém dochází ke kondenzaci - v našich klimatických podmínkách se jedná nejčastěji o říjen. Vždy se stanoví případné kondenzační zóny s aktuální mírou kondenzace. Pokud vyjde míra kondenzace záporná, jedná se o odpařování. Jednotlivé aktuální měsíční míry kondenzace či odparu se vynásobí délkou příslušného měsíce a postupně se podle pořadí měsíců k sobě sčítají. Pokud jsou na konci modelového roku všechny kondenzační zóny suché, stačil se vzniklý kondenzát odpařit. V opačném případě se bude kondenzát v konstrukci postupně hromadit.

Ve stavební konstrukci s připuštěnou omezenou kondenzací vodní páry uvnitř konstrukce dle 6.1.2 [3] nesmí v roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry zůstat žádné zkondenzované množství vodní páry, které by trvale zvyšovalo vlhkost konstrukce.

Roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce  $M_c$  [kg/m<sup>2</sup>.rok], tedy musí být nižší než roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce  $M_{ev}$  [kg/m<sup>2</sup>.rok]. Platí tedy podmínka:

$$M_c < M_{ev} \quad (39)$$

kde  $M_{ev}$  je množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce [kg/m<sup>2</sup>.rok].

## 7 SOUČASNÉ KONSTRUKČNÍ SOUSTAVY DŘEVOSTAVEB

Základním přínosem disertační práce je snaha přijít s jednoduchým a levným systémem pro stavbu pasivního domu. K tomuto cíli je zaměřen výzkum a vývoj v oblasti foukaných izolací. Je vhodné, aby obvodový plášť plnil tepelnou, vlhkostní a akumulační funkci. Navrhováním budov a jejich částí má vytvářet co nejkvalitnější vnitřní prostředí při nízké provozní energetické náročnosti a přiměřeně nízké zátěži životního prostředí lokálním, regionálním a globálním měřítku, a to po celý životní cyklus budovy. K tomu mohou velmi významně přispět správně aplikované poznatky tepelné ochrany budov. Nedílnou součástí nízké zátěže životního prostředí je již samotná výroba použitých stavebních materiálů.

Celulózová izolace ve srovnání s dalšími izolačními materiály (např. polystyrén či skelné vlákno), má při výrobě podstatně nižší potřeby použití primární energie. Činí pouze šestinu ve srovnání s polystyrenem a třetinu ve srovnání se skelným vláknem. Je nutné navrhovat takové řešení budovy, aby požadavku nízké energetické náročnosti bylo dosahováno efektivně, tedy s nízkou investiční náročností a s malou zátěží životního prostředí po celý životní cyklus budovy [3]. Správným tepelně technickým návrhem je obvykle zajištěno vytvoření celistvé tepelně izolační obálky budovy s minimem slabých míst. U všech typů konstrukcí a jejich vazeb se dává přednost takovému konstrukčnímu řešení, které při skutečném provedení nejméně narušuje celistvost izolační vrstvy a vede k co nejnížší degradaci jejich tepelně izolačních vlastností. Ve výpočtech je třeba věrně vystihnout případný zhoršující účinek prostupujících nosných a jiných vodivějších prvků a další předpokládané nebo zjištěné nepravidelnosti (viz posouzení tepelně technických parametrů).

### 7.1 Požadavky na obvodové pláště

Směrnice Rady 89/106/EHS [49] o stavebních výrobcích s účinností od 1. 7. 2012, včetně obou nařízení české vlády č. 163/2002 Sb. [50] i č.190/2002 Sb. [51] definují základní požadavky na stavby.

Po dobu ekonomicky přiměřené životnosti musí stavby při běžné údržbě plnit tyto základní požadavky:

1. mechanická odolnost a stabilita;
2. požární odolnost;
3. hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí;
4. bezpečnost a přístupnost při užívání;
5. ochrana proti hluku;

6. úspora energie a ochrana tepla;
7. udržitelné využívání přírodních zdrojů.

Novým je požadavek č. 7: Udržitelné využívání přírodních zdrojů, podle něhož je třeba zaručit opětovné využití nebo recyklovatelnost stavebních objektů, jejich materiálů a částí po demolici, přiměřenou trvanlivost použitých výrobků a použití surovin a druhotných materiálů šetrných k životnímu prostředí.

## 7.2 *Současný stav techniky*

Obvodové pláště dřevostaveb jsou přednostně určeny pro použití masivní vrstvy tepelné izolace. Z ekonomického hlediska se rámové konstrukce na bázi dřeva řadí oproti jiným konstrukcím (srubové, skeletové) mezi finančně výhodnější varianty. Nezanedbatelnou výhodou jsou finální úpravy, kterých lze na dřevěné konstrukční systémy použít rozsáhlé množství. Výhodou rámových dřevostaveb je především jednoduchý konstrukční systém (desky, fošny), opláštění zde plní funkci ztužení, zkrácení lhůty výstavby, dostupnost materiálů, atd.

Standardní lehké rámové (sloupkové, fošnové) konstrukce lze nazvat systémem „two by four“ [52]. V průběhu let se vyvinuli tyto systémy:

- Systém „*Ballon frame*“ - nepřerušené sloupky probíhají od soklu až k okapu.
- Systém „*modifikovaný Ballonframe*“ - sloupky jsou přerušeny na úrovni věnců.
- Systém „*Platform frame*“ - podlaží jsou vyrobené jako celý díl a jsou položena na sebe. V současnosti se jedná o nejpoužívanější typ lehkých skeletů pro jednopodlažní a vícepodlažní budovy na bázi dřeva.

Počátky vývoje nejrozšířenějšího typu fošinkové konstrukce britského původu je nutno hledat v technologiích, která byla původně vyvinuta pro rychlou výstavbu v koloniích britského společenství. Základní nosná konstrukce byla opláštěná deskami, tato tvoří vylehčenou racionální statickou strukturu. Stěnové sloupky z masivního dřeva jsou konstrukční prvky, které transportují největší množství tepla z vnitřní strany budovy směrem ven, tzn. představují klasické tepelné mosty. Dnešní konstrukční prvky systémy na bázi dřeva bývají často předimenzovány a to z důvodu vkládání stále větších tloušťek izolačních materiálů. Toto předimenzování má dva následky: zvýšený objem řeziva na celou stavbu a nižší poměrné přetvoření sesycháním. Je potřeba zdůraznit, že zvýšený objem řeziva ve stavbě nečiní pouze sloupky samotné, které bývají často tvořeny fošnami o rozměru cca 60/160 mm. Jde také o přídatné lat'ování, které rozšiřuje možnosti přidání dalších vrstev tepelné izolace. Často již dochází dokonce k přídatnému lat'ování v obou směrech, do kterého se zakládá přídatné zateplení. Eliminace tepelných

mostů a zlepšení tepelně izolačních parametrů dřevostaveb se sloupkovými systémy je tedy nejčastěji řešena dalším zateplením stěn objektu.



*Obr. 10 - Realizace moderní dřevostavby systémem „two by four“.*

Vzhledem k tomu, že dřevo je v současných konstrukcích dřevostaveb největším tepelným mostem, začínají se s intenzivním rozvojem pasivních domů čím dál více uplatňovat I-nosníky na bázi dřeva, které jsou moderní odezvou na klasické systémy dřevostaveb. Během posledních let, se začaly na stavebním trhu prosazovat konstrukční systémy, které eliminují tepelné mosty a významným způsobem omezují úniky tepla z budovy. Existují systémy vycházející z principů sloupkových systémů, avšak eliminují úniky tepla, tím, že sloupek je nahrazen I profilem (např. STEICO Wall, STEICO Joist). Tyto systémy minimalizují objem dřeva ve stojině I profilu a tím i vedení tepla z interiéru do exteriéru. Aplikace tepelných izolací mezi tento nosný systém je však stejná jako u standardních rámových konstrukčních systémů tzn. z interiérové či exteriérové strany.



*Obr. 11 - Realizace moderní dřevostavby se stěnovými prvky STEICO.*

V nedávné době byl vyvinut systém pro nosné obvodové stěny a střechu pasivního domu, které jsou tvořeny dřevěnými příhradovými nosníky, jejichž výška určuje tloušťku tepelné izolace.



*Obr. 12 - Realizace moderní dřevostavby s příhradovými nosníky. [38]*

Stále přísnější tepelně technické požadavky na obvodové pláště mají za následek stále masivnější zateplování. Spolu se zvětšující se tloušťkou tepelné izolace roste i tloušťka obvodových tepelně izolačních plášťů. U standardních obvodových plášťů čím dále větší část zastavěné plochy budovy zabere jeho tepelně izolační obálka, kterou však nelze využívat k bydlení, proto je zároveň přirozená i opačná snaha o co nejtenčí obvodové konstrukce [53]. Z tohoto pohledu by bylo ideální postavit dům jen z tepelné izolace. Z těchto základních myšlenek vzešel návrh nového progresivního stavebního stěnového prvku pro obvodové pláště, který je předmětem této disertační práce.

### **7.3 Materiály použité pro konstrukci obvodových plášťů**

#### **7.3.1 Opláštěující deskové materiály na bázi dřeva**

V současné době dochází ve stavebnictví k velkému rozvoji používání nových materiálů na bázi dřeva především. Většinu stavebních systémů dřevostaveb je nutné zavětrovat, aby se zajistila dostatečná prostorová tuhost konstrukce. K tomu se využívají především OSB desky, sádrovláknité desky, dřevovláknité desky, cementoštěpkové apod., které mají výbornou ztužující schopnost. Opláštěující desky tvoří „ztracené bednění“ pro vloženou foukanou izolaci uvnitř rámové konstrukce dřevostavby. Deskové materiály přímo ovlivňují tepelně technické parametry obvodových plášťů staveb na bázi dřeva. Opláštěující desky lze rozdělit z tepelně technického hlediska na desky difuzně otevřené pro vnější opláštění a vnitřní parobrzdné opláštění stěn dřevostaveb. Velkou výhodou většiny

oplašťujících desek je, že jsou velmi dobře zpracovatelné, povětšinou houževnaté a zároveň mají poměrně různý difuzní odpor, což deskovým materiálům připisuje v obvodovém plášti přesné umístění do skladby obvodového pláště. Pro potřeby disertační práce byly zvoleny konkrétní desky, které zastupují dané možnosti materiálového složení.

#### **7.3.1.1 Desky OSB**

OSB desky (Oriented Strand Board/oriented Structural Board) byly vyvinuty ve 40. letech 20. století v Německu, avšak největšího rozšíření dosáhly v USA. Jedná se o velkoplošné desky z orientovaných velkoplošných třísek - pásků. Vyrábějí se nejčastěji třívrstvé, méně pětivrstvé. Krajní vrstvy mají pásky orientovány rovnoběžně s podélnou osou desky, vnitřní vrstva (tvoří 50 % tloušťky) má pásky orientovány kolmo. Rozměry pásků jsou: délka 60 - 150 mm, šířka 5 - 15 mm, tloušťka 0,4 - 0,6 mm. Po zalisování desek s lepidlem se objemová hmotnost OSB nejčastěji pohybuje v rozmezí 600 až 800 kg/m<sup>3</sup>. Tloušťka desek se pohybuje nejčastěji v rozmezí 6 - 25 mm [11].

#### **7.3.1.2 Desky VELOX**

Desky VELOX jsou vyrobeny z dřevité štěrky jehličnatého dřeva (89 %), cementu a roztoku vodního skla. Vodní sklo stabilizuje desky proti vlhkosti a zajišťuje jejich odolnost proti plísním a hlodavcům. Cement zajišťuje pevnost a soudržnost desek. Směs se plní do forem a stlačuje vysokým tlakem. Dřevěná štěrka, cement a vodní sklo spolu vytvářejí velmi pevný konstrukční materiál. Desky VELOX přebírají vlastnost dřeva, takže jsou velmi dobře opracovatelné lze je řezat, vrtat, sbíjet hřebíky, frézovat, šroubovat bez hmoždinek. Poréznost jejich povrchu zajišťuje jednak vynikající spojení s omítkou a zároveň dokonalé tlumící vlastnosti a pohlcování hluku. Cementoštěpkové desky se používají především v oblasti výstavby rodinných a bytových domů, mimo jiné i jako nosné a ztužující opláštění dřevostaveb.

#### **7.3.1.3 Desky Flexibuild**

Stavební deska je vyrobená speciální technologií, při které dochází k recyklaci odpadních vrstvených potravinářských obalů tzv. Tetrapaků. Technologie výroby využívá fyzikálních vlastností zpracovaného odpadu a nevyžaduje žádná pojiva, lepidla, ředidla a jiná aditiva. Deska je z jedné strany krytá papírem bílé barvy a z druhé lepenkou šedé barvy. Deska je určena k obkladům v interiéru i v exteriéru, kde se bude provádět finální úprava povrchu obklady, nebo tenkovrstvými omítkami. Flexibuild desku je dále možno použít jako součást nenosných i nosných konstrukcí.

### 7.3.1.4 Desky Fermacell

V návaznosti na standardní sádrovláknité desky FERMACELL se v nedávné době na trhu objevila nová sádrovláknitá deska FERMACELL Vapor, díky speciálnímu kaširování na zadní straně desky je propustnost vodní páry redukována natolik, že odpadají další dodatečné parotěsné vrstvy v konstrukcích obvodových plášťů. Přitom zůstávají zachovány vlastnosti originální sádrovláknité desky FERMACELL. Jedná se tedy o biologicky nezávadnou konstrukční protipožární desku.

### 7.3.1.5 Desky UdiSPEED

UdiSPEED je dřevovláknitá deska určená pro dřevěné sloupkové konstrukce a stavby z dřevěných panelů. Je oboustranně použitelná a tvarově stálá, především díky speciálním drážkám. Pro dokonalé spojení bez tepelných mostů má po obvodu pero a drážku. Izolační deska UdiSPEED slouží jako dokonalý ohraničující prvek pro výplňové izolace. Při vhodném konstrukčním řešení dřevostavby už není třeba jiného podkladního materiálu a desky fasády tvoří ideální podklad pro omítku (bez vln a mikrotrhlin).

Tab. 5 - Tabulka technických parametrů deskových materiálů použitých pro vyhodnocení skladeb obvodových plášťů.

Materiál	Název deskového materiálu	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m.K]	Faktor difuzního odporu $\mu$ [-]	Měrná tepelná kapacita $c$ [J/kg.K]	Funkce desky
1	Flexibuild Basic	750	0,18	300-1450	1560	interiér
2	OSB desky	650	0,13	50	1700	interiér
3	Fermacell Vapor	1200	0,32	200	1000	interiér
4	VELOX	570	0,11	13	1580	interiér/exteriér
5	UdiSPEED	240	0,05	5	1400	exteriér

### 7.3.2 Tepelné izolace

Základním úkolem tepelných izolací je především vytvořit bariéru proti úniku tepla přes obálku budovy. Účelem tepelných izolací je tedy v zimních měsících udržet v domě teplo a v letním období jejich prostřednictvím bránit přehřívání interiéru. Vláknité izolace fungují obecně na principu mikroprostorů vzduchu uzavřeného mezi vlákny bez pohybu. Jejich tepelně izolační kvalita závisí na jemném rozvláknění s co největším počtem - co nejmenších prostorů a vláknů, které nesmí mít příliš vysokou tepelnou vodivost a musí být dostatečně dlouhé. V mezivláknových prostorech se jako izolant udržuje vzduch bez pohybu a je tak základem velmi dobrých izolačních schopností. Vzduch lze zařadit mezi tepelně izolační materiály a proto je základním úkolem tepelných izolací dosáhnout co nejmenších vzduchových částecek mezi vlákny. Separované části vzduchu si pak mezi sebou podstatně hůře předávají teplo. Čímž dochází k drobnému zlepšení tepelně izolačních vlastností. Podstatou tepelně izolačních látek je tedy uzavření plynu (např. vzduchu) do malých prostorů - pórů, nebo do struktury, která dokáže uzavřít velké množství vzduchu tak, aby bylo zamezeno proudění plynných látek v materiálové struktuře izolace. Celulózové vlákno (*Obr. 14*), které je méně pevné a rovné, vytváří podstatně hustší hmotu, než je tomu u čedičových (*Obr. 15*) nebo skleněných vláken (*Obr. 16*). Tepelně izolační materiály lze chápat vždy jako kompozit tuhých a plynných složek. Plyny jsou obecně nejlepšími tepelnými izolanty, zvláště pokud zabráníme jejich proudění.

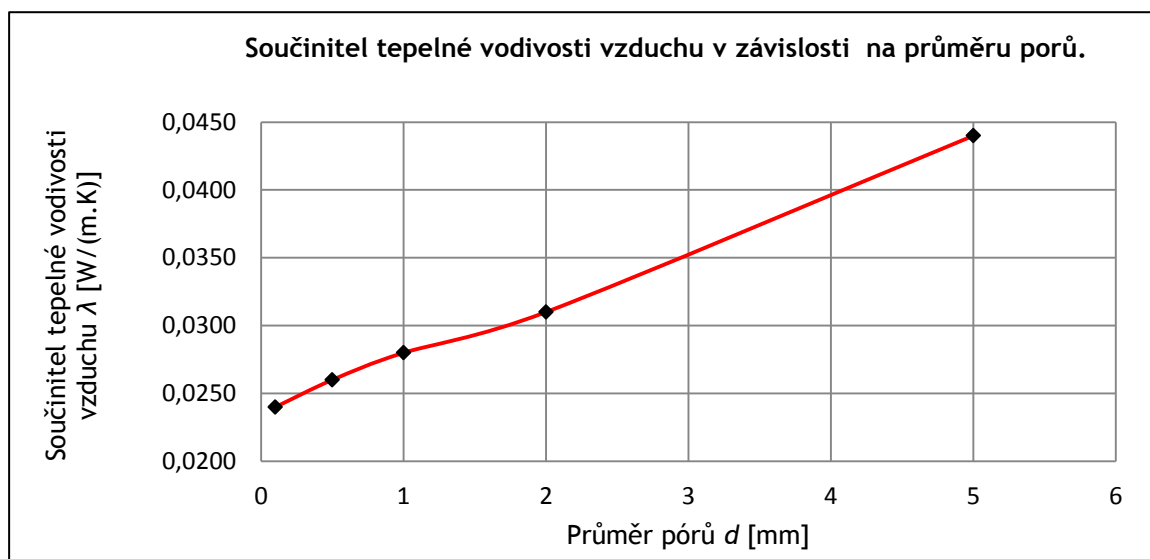
Jemná vlákna se snadno aplikují foukáním, dobře zadržují vzduch a zpomalují jeho proudění. Funkce foukané celulózové izolace je právě založena na oddělení vzduchu bez pohybu mezi vlákny a dokonalém přilnutí vláknité hmoty k ostatním částem konstrukce tak, aby se co nejvíce zabránilo proudění vzduchu spárami a nežádoucím tepelným mostům.

Disertační práce se přednostně věnuje právě foukaným izolacím na bázi recyklovaného papíru, která ve svých pórech uzavírá vzduchové složky, je nutno uvést *Tab. 6* a *Obr. 13*, dokumentují izolační vlastnosti vzduchu.

*Tab. 6 - Součinitel tepelné vodivosti vzduchu v závislosti na průměru pórů [32]*

Průměr pórů $d$ [mm]	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0
Součinitel tepelné vodivosti vzduchu $\lambda$ [W/(m.K)]	0,024	0,026	0,028	0,031	0,044

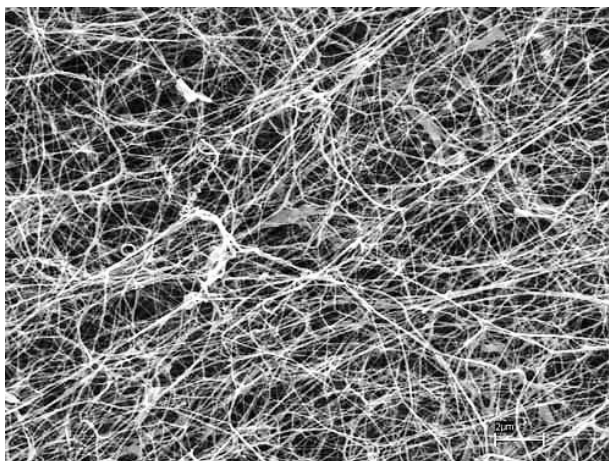




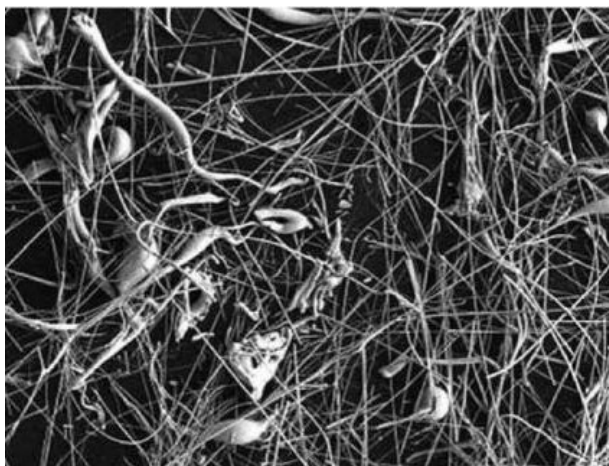
Obr. 13 - Graf závislosti součinitele tepelné vodivosti vzduchu na průměru porů.

Obecně se tepelné izolanty vyznačují tím, že mají nízkou hodnotu tepelné vodivosti. V současnosti je známo mnoho typů tepelných izolací nejen z hlediska funkce a použití, ale i z pohledu materiálů či vnitřní struktury. Nejstarší tepelné izolace jsou materiály přírodní: seno, sláma, rákos či lišejníky. Od poloviny 20. století se začaly ve větší míře objevovat materiály na bázi plastů. V současné době lze tyto izolace označit za nejpoužívanější tepelné izolace. V poslední době se významně rozvíjí použití tepelných izolací na přírodní bázi: celulózové, dřevovláknité, konopné či slaměné. V zahraničí je velice rozšířená celulóza (deskové prvky, foukaná) označovaná jako Climatizer či Isofloc. Druhy tepelných izolací lze rozdělit níže

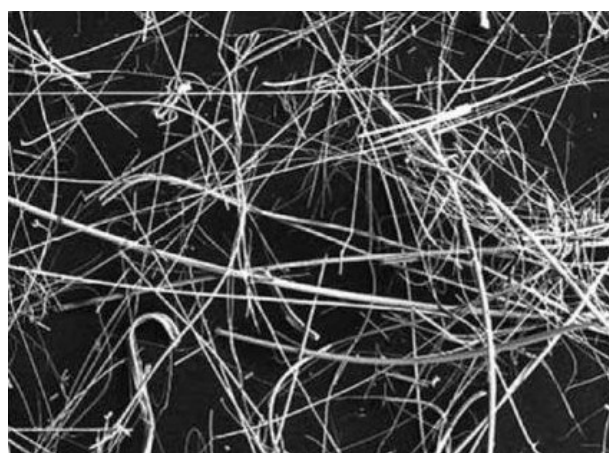
- vláknité materiály: minerální vlákna strusková či čedičová, skleněná, keramická, syntetická (textilní) vlákna;
- pěněné plasty: polystyreny, polyuretany, PVC, PE, pěnové sklo atd.;
- materiály na bázi dřeva: dřevovláknité, dřevotřískové, dřevoštěpkové, korek, kokosová vlákna, rákosové rohože atd. Všechny tyto materiály spojuje velmi malá ekologická stopa;
- materiály na bázi papíru: drcený starý papír, voštinové desky apod.
- minerální materiály: perlit expandovaný, expandovaná břidlice, struska, keramzit, popílek;
- zvláštní tepelné izolace: např. na bázi ovčí vlny případně bavlny.



*Obr. 14 - Mikroskopický snímek struktury izolace z celulóзовých vláken. [39]*



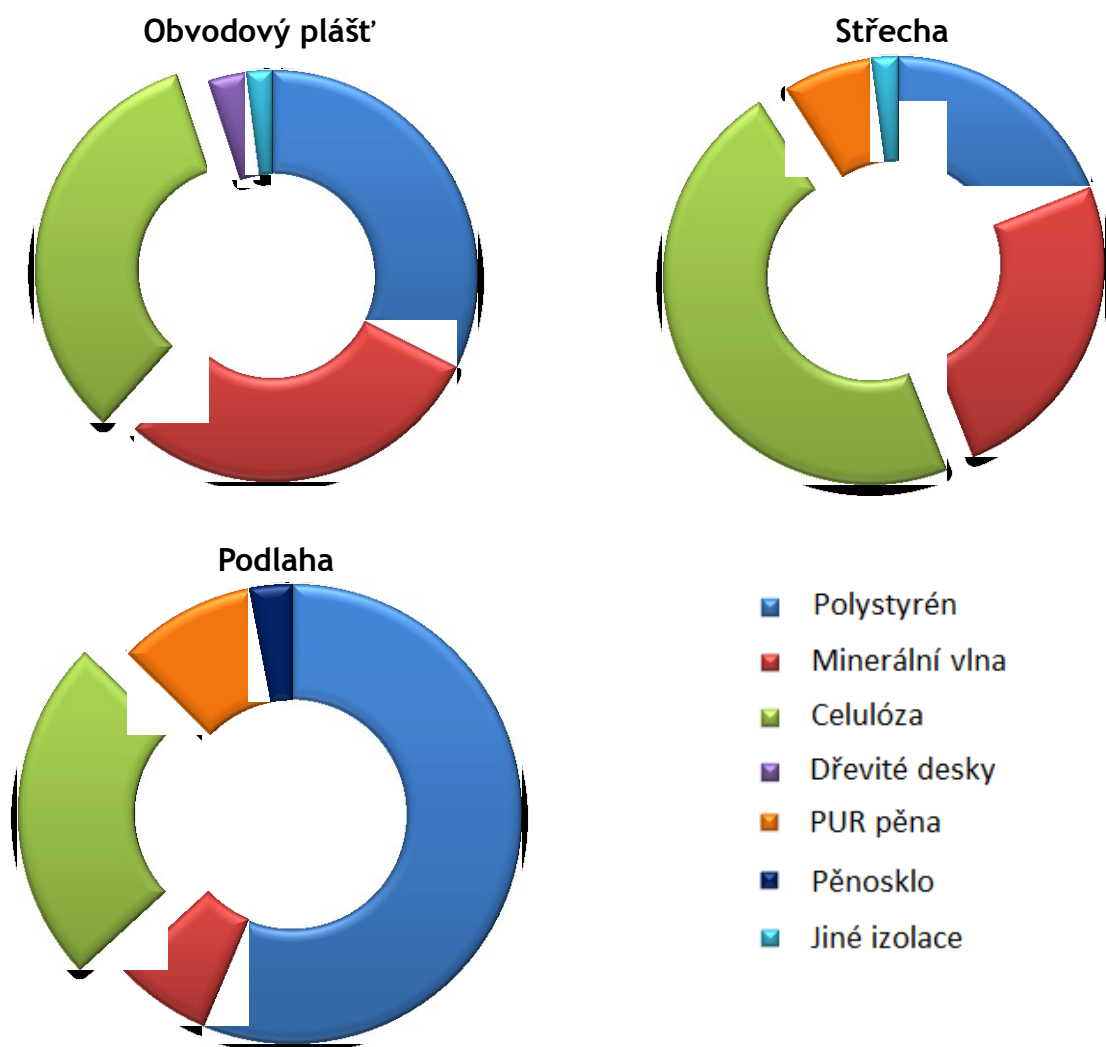
*Obr. 15 - Mikroskopický snímek struktury izolace z čedičových vláken. [40]*



*Obr. 16 - Mikroskopický snímek struktury izolace ze skleněných vláken. [40]*

Jelikož se disertační práce zabývá foukanými vláknitými tepelnými izolacemi pro instalace mezi optimalizované prvky obvodového pláště, bude věnována detailnější pozornost právě těmto izolacím.

Na Obr. 17 grafy přehledně zobrazují použití jednotlivých druhů tepelné izolace v konstrukcích na domech certifikovaných v Passivhaus institutu. Celulóza je v pasivních stavbách v zahraničí masivně využívána zejména v dřevostavbách, které zde tvoří vysoké procento novostaveb. Jedná se zejména o domy stojící na území Německa. Jako zdroj dat byla použita databáze domů. Pro porovnání bylo vybráno sto rodinných domů různých konstrukčních typů. Masivní použití izolací na bázi celulózy je způsobeno vysokým procentem dřevostaveb, kde je používána téměř výhradně tato izolace.

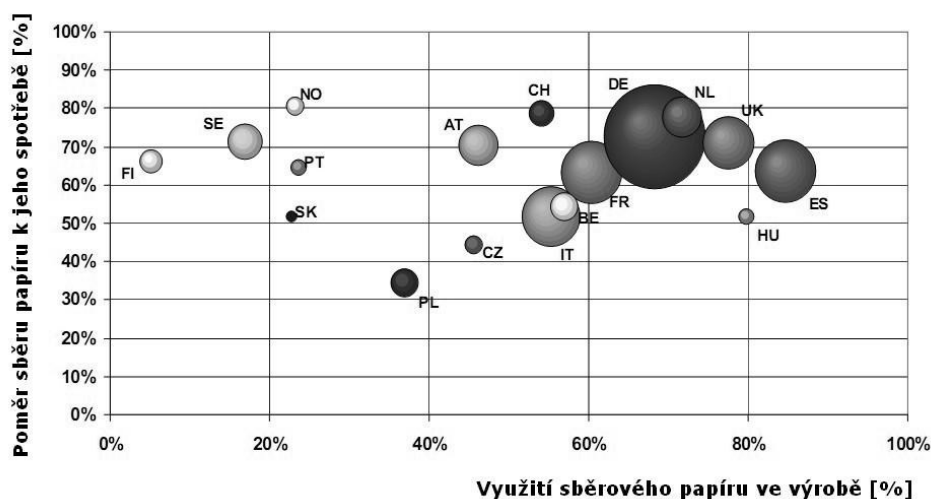


Obr. 17 - Zobrazení použití druhů tepelné izolace v konstrukcích na domech certifikovaných v Passivhaus institutu.

### 7.3.2.1 Celulóza

Celulóza je druhou nejčastější organickou sloučeninou na Zemi. Jedná se o hlavní složku dřeva a je obsažena v jeho buněčných stěnách. Papír se získává ze dřeva, které obsahuje makromolekuly celulózy a to jak ve formě volné tak částečně pravidelně uspořádané. Typickým zástupcem celulózové tepelné izolace je Climatizer Plus, který se získává tzv. mechanickou cestou z novinového papíru. To znamená, že původní složky dřeva zůstávají v minimálně změněné formě. Zpětná recyklace vlákniny získané ze sběrového papíru je možná v papírenském průmyslu.

Evropský papírenský průmysl (EU + Norsko a Švýcarsko) se zavázal k recyklaci 66 % všeho spotřebovaného papíru v roce 2010 a tento cíl splnil. Množství vytríděného papíru v celé Evropě i u nás dlouhodobě roste [43]. Recyklace má pozitivní dopad na životní prostředí. Vede k nižším emisím znečišťujících látek do vzduchu i vody. Zpracování sběrového papíru potřebuje oproti výrobě papíru z buničiny méně energie a méně vody. Každá tuna recyklovaného papíru ušetří kolem 5 m<sup>3</sup>. Množství odpovídající 19 % spotřebovaného papíru je nenávratné a nerecyklovatelné: např. papír v knihovnách a dlouholeté archívy, materiály, které se vytratí během spotřeby nebo hygienický papír. Česká republika v třídění papíru zatím zaostává za většinou evropských zemí. Stav graficky dokumentuje Obr. 18 publikovaný na konferenci papírenského recyklačního průmyslu (2008), shrnující situaci v roce 2007. Náš průmysl v současnosti není schopen veškerý vytríděný papír zpracovat, nadbytek sběrového papíru se vyváží do okolních států.



Obr. 18 - Grafické zobrazení pozice ČR v rámci EU v třídění papíru. [43]

Z rozvlákněného novinového papíru je získáno celulózové vlákno *Obr. 21*, na něž se při vysokých teplotách natavují další přísady, které zajišťují odolnost izolace proti požáru, hnilobě, hlodavcům a hmyzu. Používanými přísadami jsou boritany nebo síran hořečnatý. Climatizer Plus je tepelná izolace, který velmi dobře odolává sálavému teplu. Tento materiál má až dvojnásobně lepší odolnost v porovnání s minerální či skelnou vatou. Izolace Climatizer Plus je hodnocena jako zdravotně nezávadná a biologicky odbouratelná látka. Na základě výše uvedených skutečností, byla Ministerstvem životního prostředí v roce 1994 izolaci Climatizer Plus propůjčena ochranná známka „*Ekologicky šetrný výrobek*“. Výrobce Climatizer Plus je certifikovaný dle ISO 9001:2009 a dozor nad kvalitou výroby vykonává vedle tuzemského TZÚS současně několik zahraničních zkušeben.

Uvedených vlastností vlákna obsaženého v Climatizeru Plus se dosahuje speciální turbínovou technologií (viz *Obr. 19*) rozvláknění, které je k vláknům velmi šetrné a v maximální možné míře zachovává jejich původní délku. Výhodou jemné struktury, je menší hloubkové provětrávání izolace při jeho použití v odvětrávaných konstrukcích a tím i uchování celé tloušťky pro zajištění izolačních schopností konstrukce. V celulózové izolaci Climatizer Plus se nachází cca 18 % směsi přísad na bázi boru a síranu hořečnatého. Přísady boru jsou obsaženy v koncentraci do 5 % hmotnosti a zbytek tvoří síran hořečnatý.

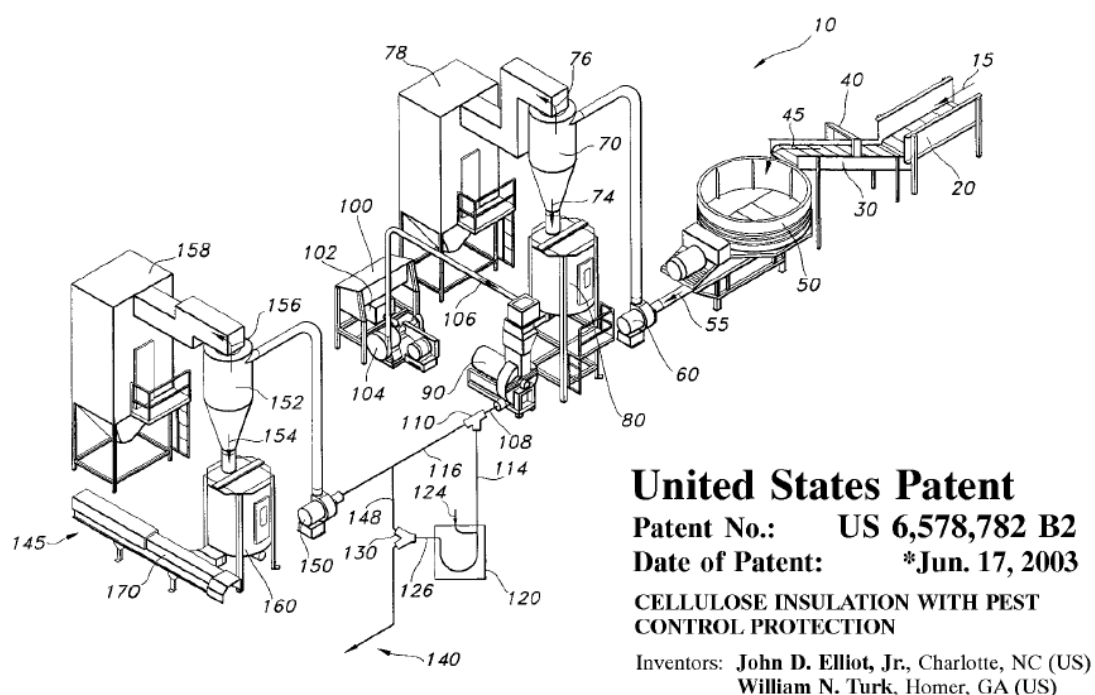
Kyselina boritá -  $H_3BO_3$  (ve zředěné koncentraci) ve výrobku Climatizer Plus působí podobně jako borax -  $B_2O_3$ . Tepelný rozklad  $H_3BO_3$  začíná již od 100 °C. Při teplotách nad 150 °C se již mění na  $B_2O_3$ . Působí rovněž jako antiseptikum proti plísním. Její hmotnostní koncentrace od 3 % ve výrobku je dostatečná pro tuto funkci. Jedná se o stabilní krystalickou látku nepodléhající za běžných podmínek rozkladu. Při zahřátí na teplotu okolo 200 °C krystalická voda z boraxu odchází a její uvolnění způsobuje ochlazování působící proti ohni. Rovněž napomáhá udržet souvislou zuhelnatělou vrstvu při požáru tzv. boraxová sklovina, která zpomaluje postup ohně vrstvou izolace a spolupůsobí s vrstvou zuhelnatělé celulózy proti rychlému postupu ohně. Funkce Boraxu pro působení v celulózové izolaci spočívá především v obsahu krystalické vody a ve schopnosti vytvářet při vysokých teplotách sklovinu.  $B_2O_3$  i  $H_3BO_3$  jsou vyčištěné nerostné suroviny, které se nacházejí v největší míře v Kalifornii (USA) v Argentině, Chile, Turecku a Rusku. Začátky použití těchto surovin ve stavebním průmyslu souvisí s impregnací dřeva.

Síran hořečnatý -  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  v celulózové izolaci působí podobně jako borax. Obsahuje rovněž krystalicky vázané molekuly vody, které se zahřátím uvolňují. Tím se projevuje jejich funkce při požáru. Síran hořečnatý je velmi stabilní látkou jedná se vlastně o usazené mořské soli.

Vhodná kombinace těchto přísad v celulózové tepelné izolaci způsobuje zvýšenou odolnost proti ohni, plísním a houbám a současně odpuzuje hmyz a drobné hlodavce. Je prokázáno, že při použití do teploty 105 °C je materiál naprosto stabilní a jeho struktura se nemění. Přísada je v materiálu homogenně rozprostřena a spojena s vlákny díky speciální technologické úpravě. Fixace přísad k celulózovému vláknu je zajištěna dávkováním pomocí počítače přímo do výrobní linky na základě průběžné váhy vstupující papírové drtě. Před smícháním v rozvlákňovací turbíně *Obr. 19* se jejich granulace upravuje do formy jemného pudru. Při tomto mechanickém procesu se soli zahřejí cca na 70 - 80 °C a stanou se lepivými. Spolu s papírem, který se při rozvlákňování v turbíně rovněž zahřívá, vytvoří dokonale homogenní směs a jsou dobře fixovány v celé hmotě izolačních vláken finálního výrobku. Směs od vlákna nelze běžnými mechanicky prostředky oddělit.

Dle dlouhodobých výzkumů prováděných v USA, bylo zjištěno, že celulózové izolace mají ustálené tepelně izolační parametry i v období velmi nízkých teplot, kdy u jiných izolantů dochází k výraznému zhoršování těchto vlastností. To je s ohledem na skutečnost, že funkce tepelné izolace nás nejvíce zajímá v zimním období velmi důležitý poznatek. Musí však být vždy správně proveden i celkový návrh konstrukční skladby, což je řešeno v samostatné části této disertační práce.

Jedna z prvních patentových průmyslových ochran se týká navázání příměsí proti škůdcům na celulózová vlákna, viz *Obr. 19*.



*Obr. 19 - Rozvlákňující turbína - United States Patent 2003.*



Proces modernizace technologie výroby celulózových izolací vyvrcholil v roce 1990, kdy se objevil první kus turbínového rozvlákňovače vyvinutého a dodaného americkou firmou Advanced Fiber Technology. Prvním, kdo toto zařízení nasadil, byla kanadská firma Climatizer Insulation, od které získala v roce 1991 licenci na výrobu celulózové izolace rovněž firma CIUR, a.s. v České republice *Obr. 20.*



*Obr. 20 - Rozvlákňující turbína CIUR a.s.*



*Obr. 21 - Climatizer Plus.*

#### **7.3.2.2 Směs celulóza - sláma**

Jedná se o rozvlákněnou, impregnovanou směs slámy a celulózového vlákna s konzistencí přizpůsobenou pro použití ve všech typech standardních aplikačních strojů pro foukané izolace. Základním přínosem je náhrada 50% směsi přírodním ekonomicky přínosným materiálem. Nespornou výhodou této směsi je možná aplikace i mimo sezonu přímé dostupnosti slámového materiálu. Výrobek je vhodný pro zateplování vodorovných, šikmých i svislých stavebních konstrukcí při dodržení předepsaných objemových hmotností. Aplikace se provádí foukáním za sucha s pomocí strojního zařízení. Vláknو je velikosti do 10 mm. Díky impregnaci má výrobek zvýšenou odolnost vůči ohni, plísním, drobným hlodavcům a hmyzu.

Výhodou výrobku je přirozená schopnost vyrovnávat vlhkost a akumulovat teplo. Pro volné foukání na vodorovné konstrukce, např. nepochozí půdy je doporučena objemová hmotnost  $\rho = 50 - 55 \text{ kg/m}^3$ . Objemové plnění do vodorovné konstrukce, např. trámový strop má dosahovat hodnot  $\rho = 55 - 60 \text{ kg/m}^3$ . Objemové plnění do šikmé konstrukce, např. střešní plášť má splňovat objemovou hmotnost  $\rho = 70 - 75 \text{ kg/m}^3$ . Objemové plnění do svislé konstrukce, např. stěny, příčky má dosahovat objemové hmotnosti  $\rho = 90 - 100 \text{ kg/m}^3$ .



Obr. 22 - Směs ClimatizerPlus a rozvlákněná sláma - poměr 50/50 %.

### 7.3.2.3 Směs celulóza - konopí

Konopí je v Evropě tradiční rostlinou. Jedná se o jednoletou technickou rostlinu vzpřímeného růstu, která roste mnohem rychleji než dřevo, nevyžaduje velkou péči a ošetřování chemickými látkami, při růstu navíc odbourává oxid uhličitý a nevyčerpává půdu. Pro technické účely se používá zušlechtěné konopí seté, jehož hlavní výhodou je krátké vegetační období a rychlý růst. Rostlina v jedné sezóně dorůstá obvykle výšky 2 až 5 m. Proto patří k obnovitelným surovinovým zdrojům pro výrobu stavebních tepelných izolací. Z konopných rostlin se pro výrobu tepelných izolací využívají především vlákna (Obr. 23) a pazdeří. Z vláken se vyrábí tepelně izolační desky, rouno nebo foukaná sypká izolace. Vlákna se získávají z vnější části stonku rostlin, pazdeří je dřevitá dužina obsažená ve stoncích. Konopné tepelné izolace nacházejí uplatnění ve všech běžných konstrukcích staveb. Vlastnosti jsou srovnatelné s minerálními vlnami, jde ovšem o ekologičtější produkt. Konopná izolace disponuje součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$  od 0,040 do 0,042 W/m.K, což konopná vlákna zařazuje mezi tepelně izolační materiály. Tepelná akumulace je schopnost materiálu přijímat, zadržovat a postupně vydávat teplo či naopak. Konopné izolace mají měrnou tepelnou kapacitu  $c = 1600 \text{ J/(K.kg)}$ . Při měrné hmotnosti  $m = 35 \text{ kg/m}^3$  přijme  $1\text{m}^3$  izolačního materiálu z konopí teplo  $Q = 56 \text{ kJ}$ . Minerální izolace, které mají hodnotu  $c = 840 \text{ J/(kg.K)}$ , přijmou při měrné hmotnosti  $m = 40 \text{ kg/m}^3$  teplo  $Q = 33,6 \text{ kJ}$ . Při srovnání těchto materiálů



zjistíme, že konopné izolace přijmou téměř dvojnásobné množství tepla. Čímž dvakrát efektivněji ovlivňují tepelnou pohodu v interiéru. Toto hraje významnou úlohu obzvláště u lehkých dřevostaveb. Základním přínosem je náhrada 50% směsi přírodním ekologickým materiálem rostlinného původu. V *Tab. 7* je uvedeno srovnání tepelně technických parametrů tepelné izolace z konopí, vhodné pro použití ve výplních vnějších stěn dřevostaveb, s obdobnými výrobky z minerálních a celulózových vláken.



*Obr. 23 - Konopná vlákna.*

*Tab. 7 - Technické parametry tepelné izolace z konopných, minerálních a celulózových vláken*

Materiál	Název deskového materiálu	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m.K]	Faktor difuzního odporu $\mu$ [-]	Měrná tepelná kapacita $c$ [J/kg.K]
1	Konopná vlákna	36	0,040	1,43	1600
2	Minerální vlákna	40	0,039	1,0	840
3	Celulózová vlákna	55	0,038	1,0	1900
4	Dřevěná vlákna	50	0,040	1,0 - 2,0	2100

#### 7.3.2.4 Minerální vlákna

Foukaná izolace z minerálních vláken se aplikuje do konstrukcí obdobně jako celulózová izolace. Její předností je zařazení do třídy reakce na oheň A1, čímž významně přispívají k požární odolnosti konstrukce. Hodí se tedy do protipožárních konstrukcí. Nevýhodou je vyšší cena a menší schopnost v transportu vlhkosti, jelikož je vlákno hydrofobizováno. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda \approx 0,040$  W/m.K. Výrobky z minerálních vláken patří mezi tradiční tepelné izolanty využívané ve stavebnictví. Vzhledem k požárním vlastnostem, tvarové stálosti, ale zároveň tvarové přizpůsobivosti se výrobky z minerálních vláken významně uplatňují v obvodových pláštích staveb na bázi dřeva. Minerálně vláknité izolace se dělí na dvě základní skupiny. Jednu skupinu tvoří výrobky

z čedičových vláken. Výrobky z čedičové taveniny mají větší průměrnou tloušťku vláken a také větší rozdíly v tloušťkách jednotlivých vláken. Vláknem vyrobená rozvlákněná skleněná tavenina má obecně menší průměr než vlákna čedičová. Tepelně izolační výrobky ze skleněných vláken jsou tak obecně měkčí než výrobky z čedičových vláken.



*Obr. 24 - Minerální vlákna.*

#### **7.3.2.5 Dřevěná vlákna**

Dřevěná vlákna vznikají jako odpad při zpracování jehličnatého tenkého dřeva. Materiál je rozřezán nadrobno, poté se rozvláknuje, změkčuje vodní párou. Materiál je ekologický. Mezi kladné vlastnosti patří nízký difuzní odpor a vysoká schopnost akumulace tepla. Součinitel tepelné vodivosti je  $\lambda \approx 0,040 \text{ W/m.K}$ . Stejně jako u ostatních přírodních materiálů materiál nasaje a uvnitř distribuuje vlhkost, tzv. sorpční schopnost. Podobné vlastnosti jako dřevitá vlákna mají také izolace z technického konopí a lnu. Širší rozšíření těchto nových materiálů se teprve očekává v nejbližších letech. Typickým zástupcem dřevovláknitých izolací je STEICO Zell, který se skládá z čistých, volných dřevovláken, vyplňujících beze spár duté prostory. Každé z těchto vláken má všechny přednosti přírodního dřeva. U STEICO Zell nevznikají odřezky a případné zbytky lze zcela jednoduše kompostovat či recyklovat. Tímto se STEICO Zell odlišuje od mnoha nepřirodních izolačních materiálů, u nichž je nutno při odstranění dbát přísných zdravotních předpisů. Úřad pro kontrolu materiálů Nordrhein-Westfalen potvrdil trvalé zachování formy a objemu materiálu STEICO Zell. Při foukání dřevovláken STEICO Zell dochází u jednotlivých dřevných vláken k ozubení ve třech dimenzích a mechanickému spojení navzájem (mikroskopické uchycení), čímž se zabraňuje sesedání materiálu. Pro zajištění dlouhodobé izolační schopnosti je nutné, aby izolace měla požadovanou objemovou hmotnost  $\rho$ . Toho se dosáhne kontrolou nafoukaného objemu a porovnáním spotřebované izolace. Jsou k dispozici tabulky s předepsanou objemovou hmotností pro různé konstrukce. Dodavatelem STEICO Zell jsou doporučeny hodnoty od 32 do 45 kg/m<sup>3</sup>. Doporučenou univerzální hodnotou je pro dřevovláknitou izolaci STEICO Zell 40 kg/m<sup>3</sup> pro všechny

konstrukce. Zkušební ukázaly, že dodržením této hodnoty je zajištěna dlouhodobá spolehlivost a izolační schopnost konstrukce.



Obr. 25 - Dřevovláknitá izolace STEICOzell.

#### 7.3.2.6 Sláma

Samostatnou kapitolou je použití slámy (slámových balíků). Není to zatím materiál použitelný univerzálně, neboť ji nelze běžně na trhu koupit. Balíkovanou slámu je třeba včas zajistit individuálně u konkrétního zemědělce. Nejlépe s parametry  $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,06 \text{ W/m.K}$ ,  $\mu = 2,5$  a  $c = 2000 \text{ J/kg.K}$ . Pro některé investory je zajímavá především proto, že její použití má nejmenší negativní ekologickou stopu ve všech fázích života stavby. Flexibilní optimalizovaný prvek pro dřevostavby umožňuje snadnou instalaci různě širokých slaměných balíků.



Obr. 26 - Slaměný balík. Instalace mezi prolamované dřevěné prvky.

Kap. 7 naplňuje cíl č.1 této disertační práce (viz kap. 2).



## 8 TEPELNĚ VLNKOSTNÍ PARAMETRY CELULÓZY

Při návrhu skladby obvodového pláště dřevostavby je důležitý správný návrh skladby jednotlivých vrstev z hlediska stavební fyziky, především z pohledu difuze a kondenzace vodních par [18]. Kap. 8 naplňuje cíl č.1 (viz kap. 2) této práce.

Vhodnost finální skladby obvodového pláště ovlivňuje celá řada dalších faktorů, jako jsou vlastnosti použitých materiálů jednotlivých vrstev, jejich pořadí, vzduchotěsné uzavření vnitřního povrchu a naopak propustnost vnějšího povrchu, a to nejen podle návrhu, ale především při realizaci stavby.

Jelikož se disertační práce intenzivně zabývá obvodovými plášti na bázi dřeva a jejich tepelně izolačními vlastnostmi, je potřeba výraznou pozornost věnovat dvěma základním parametrům konstrukce na úrovni fyzikálních parametrů materiálu:

1. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m.K]. Jedná se o parametr, který na úrovni skladby materiálů ovlivňuje tepelně technické parametry obvodového pláště.
2. Faktor difuzního odporu.  $\mu$  [-]. Jedná se o parametr, který na úrovni skladby materiálů ovlivňuje vlhkostní poměry obvodového pláště. Propustnost pro vodní páru se musí dokládat jako faktor difuzního odporu  $\mu$  pro homogenní výrobky. Foukané materiály mají strukturu s vysokou propustností pro vodní páru. Hodnota faktoru difuzního odporu se často uvažuje blízká hodnotě  $\mu = 1$ .

### 8.1 Problematika vlhkosti celulózy

Vliv teplotních gradientů na vlhkostní tok přes stavební materiály je předmětem vědeckých debat. Často nejsou při experimentálních měřeních transportů vlhkosti zanedbány vlivy teplotních gradientů, čímž jsou omezovány i simulační modely. Úloha teploty v modelech přenosu vlhkosti je obvykle omezena na teplotní závislosti tlaku syté páry, koncentrace vlhkosti a viskozity kapalin. Často tato zjednodušení nestačí pro přesné matematické postihnutí reálného stavu, např. pro izolační materiály organického původu, kde bývá zmiňována existence "jiných dopravních procesů" oddělených od tlaku vodní páry, což je připisováno strukturální stavbě organických vysoce porézních materiálů [22].

Životnost konstrukcí a staveb ze dřeva je závislá na tepelně vlhkostních poměrech ve vrstvách obvodového pláště, ve kterých je nosná dřevěná konstrukce zabudována. Tepelně vlhkostní podmínky, respektive odpovídající rovnovážná vlhkost dřeva v konstrukci, mají pak značný vliv na funkční spolehlivost celé stavby z hlediska mechanické odolnosti a stability, úspory energie a tepelné ochrany

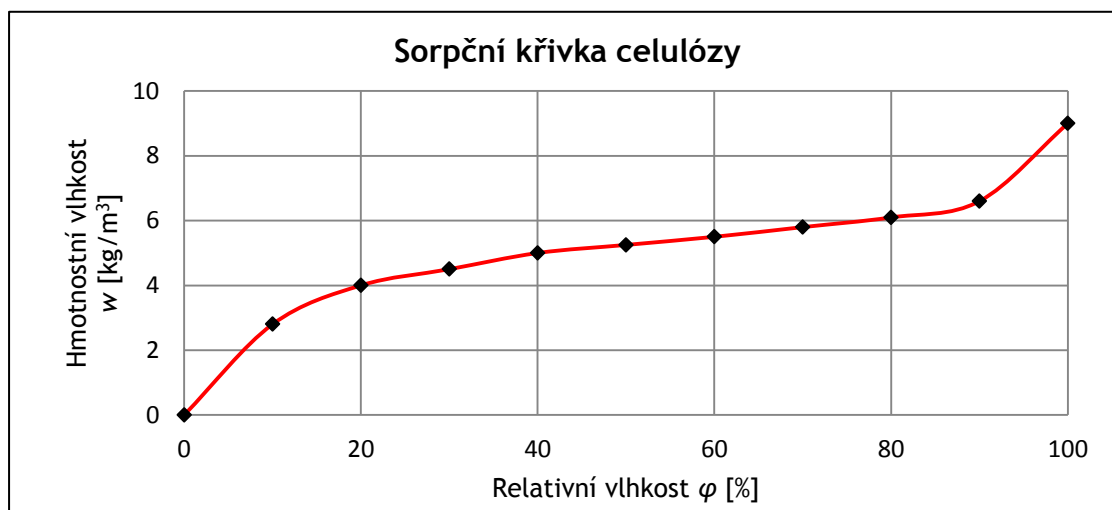
a hygieny, ochrany zdraví a životního prostředí. Pro zajištění spolehlivosti konstrukcí a staveb po dobu jejich předpokládané životnosti je nutný hlubší rozbor konstrukcí z pohledu komplexního tepelně technického hodnocení [2].

Dřevo je hygroskopický materiál, který neustále vyrovnává svoji vlhkost s okolním prostředím, a proto často hrozí při zvýšení vlhkosti vyplňující tepelné izolace zvýšení vlhkosti dřevěných prvků. Při odevzdávání vlhkosti dřevo ztrácí svůj objem vlivem sesychání buněk. Naopak pokud dřevo vlhkost ze svého okolí přijímá, jeho buňky opět vlhkost přijímají a dřevo svůj objem zvětšuje. Z pohledu vnitřního prostředí budov a mikroklimatu v obytných místnostech lze tuto vlastnost dřeva považovat za výhodu, vzhledem k vlastní konstrukci stavby a rozměrové stabilitě jednotlivých prvků ze dřeva je však tato vlastnost často problematická. Objemové změny dřeva jsou procesy, kterým nelze zabránit a patří k přirozeným vlastnostem dřeva. Je nutno jej tedy u prvků ze dřeva respektovat a provést taková opatření, která vzniku nežádoucích trhlin a deformací předcházejí, nebo je alespoň minimalizují. Problematika nižšího poměrného přetvoření sesycháním úzce souvisí se dřevem, které je na stavbu ve většině případů dopravováno s vysokou vlhkostí a při dosychání na sorpční vlhkost ztrácí objem a deformuje se kroucením po výšce prvku. Celková deformace je přímo úměrná rozměrům prvku. Proto rozdělení celého nosného průřezu na menší a pravidelné prvky (*Obr. 51*) snižuje celkovou deformaci sesycháním. Přínosem nosníků složeného průřezu z hlediska konstrukce jsou subtilnější rozměry.

Pokud by byly dřevěné prvky vystaveny déle působení vlhkosti, než „několik týdnů v roce“, hrozí zvýšení hmotnostní vlhkosti dřeva a následného znehodnocení dřevěných prvků v konstrukci. Pokud oblast kondenzace vodní páry zasahuje dřevěné prvky, pak dochází ke zvýšení jejich hmotnostní vlhkosti (*Obr. 36*). Překročí-li za normových podmínek užívání rovnovážná hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva 16 %, je požadovaná funkce konstrukce ohrožena [3]. Jestliže hmotnostní vlhkost dřevěných prvků situovaných v obvodovém plášti překročí cca 10 %, vzniká riziko nebezpečí napadení některými z biologických dřevokazných škůdců - dřevokazné houby, dřevokazný hmyz, hniloba či plísně. Překročí-li hmotnostní vlhkost dřeva 18 %, pak hrozí riziko jeho napadení Dřevomorkou domácí. V případě hmotnostní vlhkosti 20 % a více hrozí také napadení některou z ostatních druhů dřevokazných hub [17]. V případě Climatizeru Plus lze obecně stanovit zkušebními metodami i na základě praxe na aplikovaných stavbách rovnovážnou vlhkost v okolí 10 %, což přirozeně chrání dřevo pomocí redistribuce vlhkosti proti zvýšenému působení vlhkosti.

V oblasti sorpce celulózy byl prováděn výzkum „Vliv vlhkosti na dlouhodobé výkonnosti izolačních výrobků“ financovaný The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Science and Spatial Planning (Švédská rada pro

výzkum životního prostředí, zemědělské vědy a územní plánování). Výsledkem výzkumu [30], byla stanovena hygroskopická sorpční křivka sypané celulózy. Odhadovaná hygroskopická sorpční křivka udává při stavu masivní kondenzace vodních par závislost mezi obsahem vlhkosti v celulóze a relativní vlhkosti okolního prostředí viz *Obr. 27* (Zdrojová data [30]). Z grafu vyplývá pozvolný nárůst hmotnostní vlhkosti v oblasti vnitřního prostředí s relativní vlhkostí  $\varphi = 20$  až 80 %.

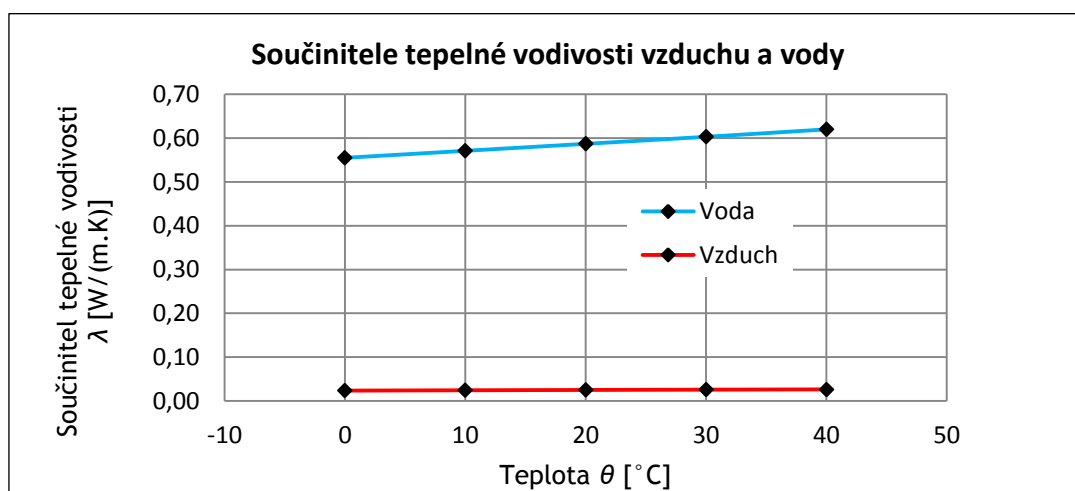


*Obr. 27 - Graf sorpční křivky celulózy.*

Při analýze výpočtových hodnot faktoru difuzního odporu bylo zjištěno, že se hodnota  $\mu$  zvýšila z 1,64 [-] při  $\theta_e = 0$  °C a  $\theta_i = 20$  °C na  $\mu = 2,35$  [-] při  $\theta_e = -10$  °C a  $\theta_i = 20$  °C až na  $\mu = 2,6$  [-] při  $\theta_e = -20$  °C a  $\theta_i = 20$  °C jedná se však o drobné odchylky a celulóza zůstala i nadále vysoce prodyšným materiálem. Změna faktoru difuzního odporu je připisována vzniku ledu v celulóze, kde se předpokládá, že při souvislé kondenzační zóně a při vzniku ledu může dojít ke zpomalení difuzních transportních jevů při okolních extrémních vnějších teplotách [30]. Tento jev se ve výpočtech často zanedbává a je zaveden předpoklad, podle kterého i zde dochází ke kondenzaci a vylučování vlhkosti [8]. Všechny stavební materiály se skládají ze základního materiálu a pórů, ve kterých je vzduch, jež má nižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti než základní materiál. Organická povaha celulózových vláken je předurčuje k významné citlivosti na vysoký obsah vlhkosti. Celulóza je typickým představitelem pro hydrofilní tepelnou izolaci, která při styku s vodním kondenzátem může zásadně změnit tepelně technické vlastnosti [30]. Součinitel tepelné vodivosti vody, který je v pórech látky, má hodnotu přibližně  $\lambda = 0,58$  W/(m.K), to znamená asi 25-krát větší než vzduch (*Tab. 8, Obr. 28, zdrojová data: [32]*). Vliv vlhkosti na součinitel tepelné vodivosti není zpravidla přímo úměrný množství vlhkosti, neboť  $\lambda$  roste při menších vlhkostech rychleji než při vyšších. Je všeobecně známo, že součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  vlhké látky je často podstatně větší než vyplývá z výše uvedené závislosti.

Tab. 8 - Součinitel tepelné vodivosti vzduchu a vody [32]

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m.K)]	Teplota $\theta$ [°C]				
	0	10	20	30	40
Voda	0,555	0,571	0,587	0,603	0,620
Vzduch	0,0235	0,0243	0,0250	0,0257	0,0263



Obr. 28 - Graf součinitele tepelné vodivosti vzduchu a vody.

V nedávné době byly jako izolant velice často používány právě minerální vaty, jelikož se jeví jako nejméně problematické z pohledu požární odolnosti. Pokud dojde ke kondenzaci vodních par v tomto materiálu, velmi často to v klimatických podmínkách ČR způsobí v obvodovém plášti na bázi dřeva větší vlhkostní problémy než například ve Francii či Velké Británii, kde jen výjimečně klesají v zimě teploty pod -5 °C. Naproti tomu v ČR tyto teploty jsou překračovány relativně často. V minerální izolaci dochází ke ztrátě tepelně izolačních schopností už při 2% objemové hmotnosti. Při současné minimální schopnosti redistribuce se tento materiál stává velmi rizikovým při vstupu už velmi malého množství vlhkosti, zejména při lokálních netěsnostech a poruchách parotěsné bariéry, kde se vlhkostní tok soustřeďuje do velmi malé plochy. Hrozí, že minerální izolace začne lokálně vlhnout až do té míry, že koncentrovanou vlhkost není schopná omezeným povrchem odvětrat. Správnost použité skladby ovlivňuje řadu dalších faktorů, jako jsou vlastnosti použitých materiálů jednotlivých vrstev, jejich pořadí, vzduchotěsné uzavření vnitřního povrchu a naopak propustnost vnějšího povrchu a to nejen podle návrhu, ale především při realizaci stavby.

Výhodou celulózových materiálů je přirozená schopnost vyrovnávat vlhkost a akumulovat teplo v mnohem větší míře než izolace uměle vyráběné. Tyto vlastnosti jsou využitelné v zimní i letní sezóně. Při působení proti nadměrnému

přehřívání konstrukcí je tento materiál schopen do sebe absorbovat až dvojnásobné množství tepla ve srovnání s uměle vyráběnými izolacemi. Tepelně izolační parametry jsou přitom srovnatelné. V současné době narůstá obliba izolačních materiálů na bázi živých buněčných struktur. Rychlejší pohyb par k difuzně otevřenému vnějšímu povrchu snižuje rizika škod vlivem kondenzace. Vlastnosti vnějšího povrchu rozhodují, zda bude skladba opravdu difuzně otevřená s co nejlepší schopností nehromadit kondenzované vodní páry a zároveň bude chránit proti větru, který při extrémním proudění může výrazně snížit účinnost izolace. Výhodou technického řešení, které přináší disertační práce, je instalace tepelné izolace mezi nosnou konstrukcí a tím, je tepelná izolace chráněna před působením větru.

Přírodní vláknité materiály mají tzv. samoregulační schopnost režimu vlhkosti. Kombinace přírodních rozvlákněných materiálů s buněčnými strukturami umějí pracovat s kondenzující vlhkostí, a proto je možno vytvářet bezpečné difuzně otevřené skladby. Pokud dojde z nějakých důvodů k poruše v konstrukci stavby, která je následně ohrožená kondenzací vodních par, reaguje buněčná struktura na rozdíly ve vlhkosti tak, že ji rozvádí (dekoncentruje). Vodní páry a vlhkost, mohou organické izolační materiály absorbovat ze vzdušné vlhkosti okolního prostředí.

Ve vlhkém prostředí část vlhkosti pojmu a při změně podmínek ji zase rychle uvolní. Správná funkce skladby obvodového pláště tedy není závislá jen na difuzní vzdušné vlhkosti, ale výrazně k ní přispívá právě schopnost přenosu vlhkosti organickými vlákny. Materiál odevzdává vlhkost do celého objemu, čímž se vytvoří násobně větší plocha povrchu na jednodušší odvětrání. Jedná se o schopnost materiálu vyrovnat a odevzdávat vlhkost celým svým materiálovým objemem, tzn. jakási vlhkostní vodivost. Díky ní nevzniká lokální koncentrace vlhkosti. Účinně tak brání lokálnímu zavodnění a zejména dřevěné konstrukční prvky chrání před zvýšenou lokální vlhkostí a následnou degradací.

Celulózové izolace, jelikož jsou přírodním materiálem, zcela přirozeným způsobem přijímají vlhkost a opět jí vydávají. Podobné materiálové charakteristiky jsou potřebné právě u tepelně izolačních obvodových plášťů staveb. Celulóza je sama za běžných podmínek ve vodě nerozpustná, a pokud jsou zajištěny podmínky zabraňující jejímu rozpadu (kvalitní materiálové přísady a správné stavebně fyzikální parametry obvodového pláště), její životnost je vysoká a tím i životnost vlákniny tvořící Climatizer Plus.

Infiltrace vzduchu stavebními konstrukcemi může výrazně ovlivnit jejich tepelně vlhkostní chování, proto je vzduchotěsnost v posledních letech věnována velká pozornost. V současné době bychom se měli v oblasti vývoje obvodových plášťů výrazně zabývat jejich těsností a to z několika důvodů, které způsobují zvýšený tok



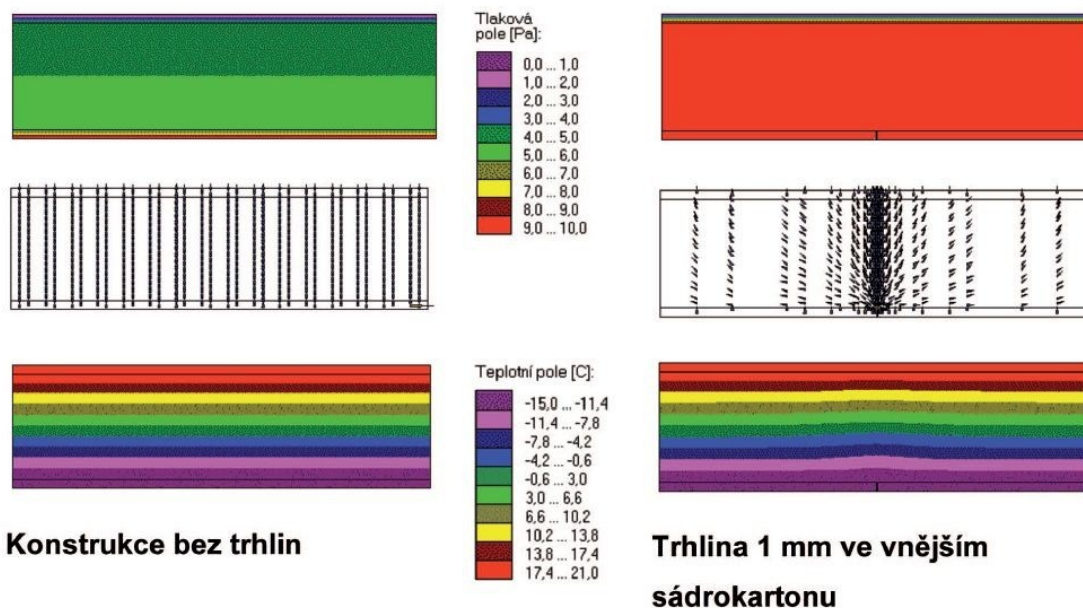
tepla a vodní páry prouděním skrze stavební konstrukce. Velké nebezpečí pro lehké konstrukce a tepelných izolací představuje právě vlhkost. Vlhkost vniká do konstrukce zejména díky difuzi vodních par a vlhkostnímu toku netěsnostmi vzduchotěsné vrstvy. Vlhkostní obtíže obvodových plášťů úzce také souvisí s jejich těsností. Principem správného návrhu skladby obvodové konstrukce je omezení difuzního toku konstrukcí do takové míry, aby se zabránilo zvýšené koncentraci vzdušné vlhkosti a vzniku kondenzace uvnitř konstrukce.

Znamená to, že ze strany interiéru se musí vytvořit nepropustná vrstva, která omezí difuzi na minimální přijatelnou míru. Tou je buď parozábrana či parobrzdá. Ukazuje se, že deskové materiály často používané pro zajištění vzduchotěsnosti u moderních dřevostaveb nemusí tuto funkci vždy plnit spolehlivě [31]. Tento problém je často zaznamenáván právě u obvodových plášťů na bázi dřeva. U modernějších konstrukcí, pro které je typická velmi malá tepelná ztráta vedením, může konvektivní přenos tepla netěsnostmi zvýšit tepelnou ztrátu za určitých podmínek až o jeden řád oproti těsné konstrukci, jak dokládají i publikované výsledky experimentů. Značné zvýšení hustoty toku vodní páry do konstrukce způsobuje v takových případech obvykle vlhkostní poruchy zcela mimo meze původního návrhu konstrukce.

U konstrukce s netěsnostmi by tomu bylo přesně naopak, jak se lze snadno přesvědčit, pokud modelově porušíme vnější opláštění trhlinou o zdánlivě zanedbatelné šířce 1 mm [16]. Z těchto důvodů jsou na deskové materiály z vnitřní strany obvodových plášťů kladeny vysoké nároky nejen coby parobrzdnost deskových materiálů, ale také na komplexnost a celistvost povrchu, včetně všech spár. Proto je vždy nutné vnitřní opláštující spáry přelepit např. parotěsnou polyetylenovou páskou. Správné provedení viz *Obr. 29*.

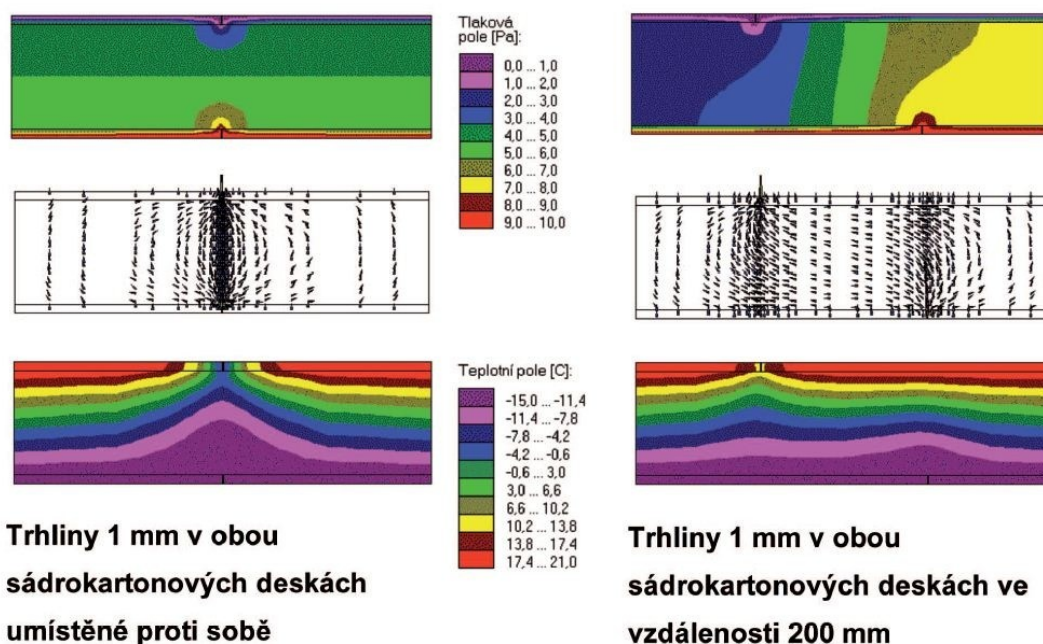


*Obr. 29 - Parotěsná páska PE - parotěsné spojení OSB desek. [33]*



Obr. 30 - Rozložení tlaků, rychlostí proudění a teplot v těsné a jednostranně netěsné lehké stěně. [16]

Ještě výraznější efekty lze očekávat, pokud bude netěsná i deska vnitřního opláštění.



Obr. 31 - Rozložení tlaků, rychlostí proudění a teplot v oboustranně netěsné lehké stěně. [16]

Pokud jde o vliv vlhkosti na tepelně izolační parametry celulózy, je k dispozici pouze omezené množství podkladů. Možnosti započítání vlivu vlhkosti do hodnoty součinitele prostupu tepla ve stavebních prvcích za normálních klimatických podmínek neexistují v žádné světové literatuře [15]. Podle doporučení několika

autorů [19], [20] zabývajících se problematikou vlhkosti celulózových tepelných izolací a vlivu vlhkosti na součinitel prostupu tepla je nutné rozšířit výzkumy právě v této oblasti.

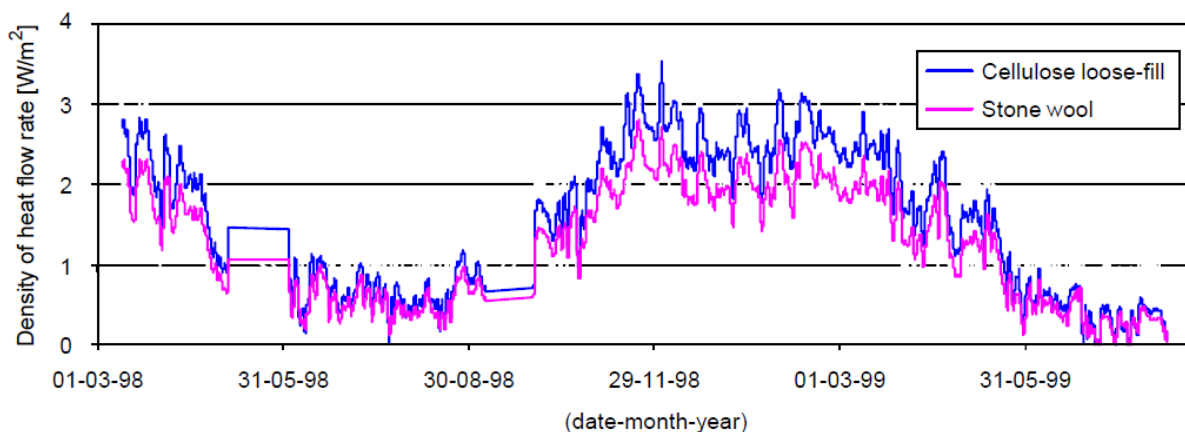
Laboratorní centrum Katedry pozemního stavitelství a urbanismu Stavební fakulty Žilinské univerzity v Žilině se právě dle výše zmíněného trendu zaměřuje na dlouhodobé sledování tepelně izolačních obvodových plášťů na bázi dřeva z tepelně technického pohledu, které jsou vystaveny venkovním klimatickým podmínkám. Cílem tohoto výzkumu je experimentální sledování, ověření a vývoj progresivních obalových konstrukcí využitelných při výstavbě dřevostaveb. Vzorem obdobných výzkumných úloh jsou špičková zahraniční pracoviště: Fraunhofer Institut für Bauphysik v německém Holzkirchene a Katholieke Universiteit Leuven [28].

Dánská agentura pro energii (Danish Energy Agency) financovala v roce 1998 výzkum [15], jehož cílem bylo zjistit, jak obsah vlhkosti ovlivňuje u vybraných fasádních prvků izolační vlastnosti celulózového materiálu a kamenné vlny. Fasádní prvky izolované minerální vlnou, byly opatřeny parozábranou, aby se zabránilo nepříjemně vysokému obsahu vlhkosti (viz kap. 8). Zkušební fasádní prvky byly instalovány na severní fasádě 11,5 x 7,9 m testovacího domu viz *Obr. 32*. Vnitřní mikroklima ve zkušebním domě bylo udržováno na hodnotách  $\theta_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $\varphi_i = 60\text{ }\%$  relativní vlhkosti vzduchu, což jsou standardní parametry mikroklimatu budov v Dánsku.



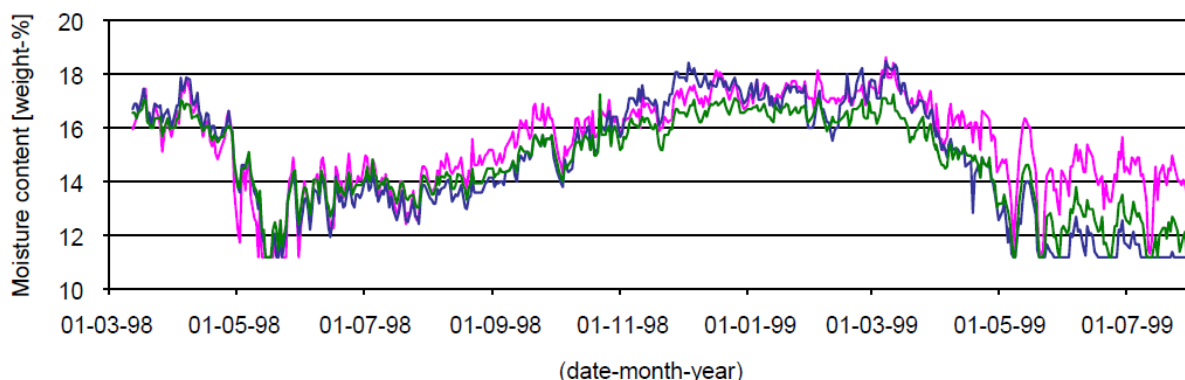
*Obr. 32 - Výzkumný dům [15], Dánsko.*

Zkušební doba trvala 1 rok, aby bylo možno zaznamenat zvýšení vlhkosti v obvodovém plášti během podzimu či zimy a snížení v průběhu následujícího jara a léta.



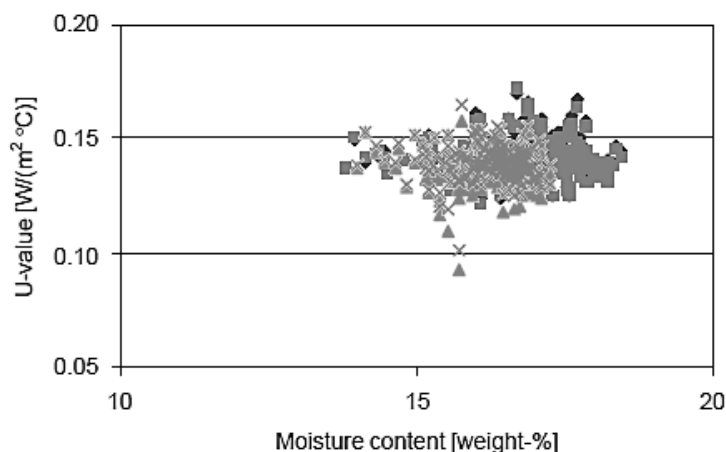
Obr. 33 - Grafické zobrazení hustoty tepelného toku v období od 1. 3. 1998 do 31. 5. 1999 pro celulózu (růžová) a minerální vlákno (modrá). [15]

Maximální obsah vlhkosti izolačního celulóзовého materiálu byl níže, než kritický obsah vlhkosti. V této souvislosti je definován jako 20 %. Tato hodnota je často považována v Dánsku za kritickou úroveň pro vznik hniloby a růst plísní. U měřených fasádních prvků se obsah vlhkosti v izolačním vláknitém materiálu za větrnou bariérou zvýšil v létě z hmotnostní vlhkosti 10 % na 18 % v zimě. Hodnoty nelze volně přejímat pro jiné země EU, protože tyto země nemají stejné exteriérové klima jako Dánsko. Uvedené hodnoty však úzce souvisí s hodnotami uvedenými hraničními hodnotami pro ČR.



Obr. 34 - Grafické zobrazení hmotnostní vlhkosti v období od 1. 3. 1998 do 31. 5. 1999 pro celulózu (růžová, zelená) a minerální vlákno (modrá). [15]

Součinitel prostupu tepla se významně neměnil se změnou vlhkosti ve fasádních prvcích při zkoumaném rozmezí obsahu vlhkosti (viz Obr. 35).

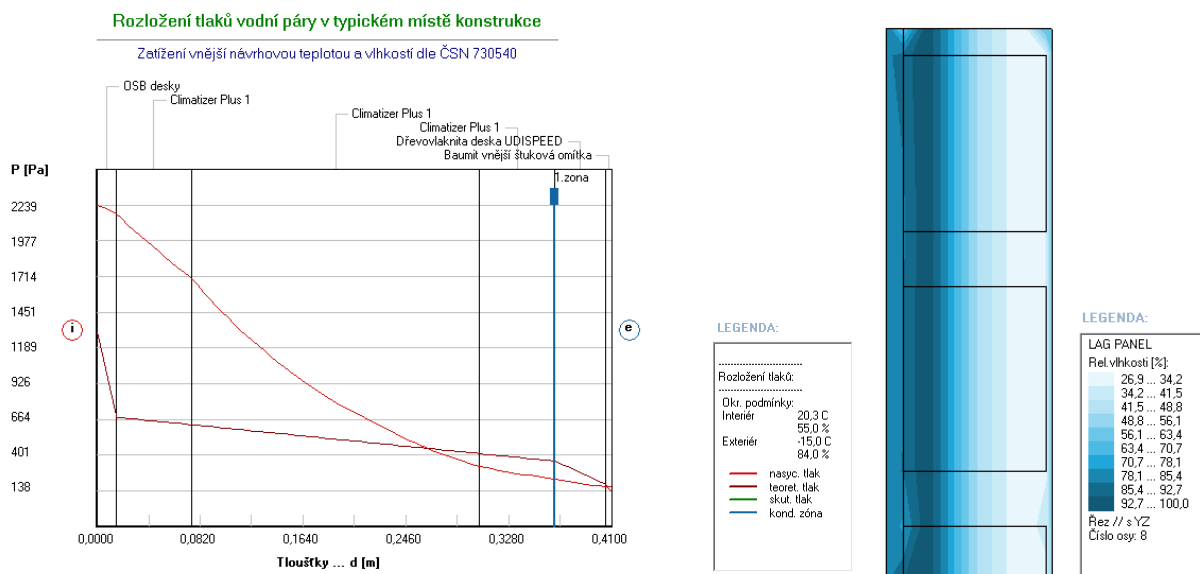


*Obr. 35 - Grafické zobrazení závislosti součinitele prostupu tepla na hmotnostní vlhkosti. [15]*

Nízký vliv vlhkosti na součinitel prostupu tepla segmentu s celulózou je potvrzen laboratorními testy, pro které byla použita měřicí metoda chráněné topné desky. Měření ukázala, že vliv vlhkosti je poměrně malý (1 - 3 %). Z výzkumu [21] vyplynulo, že zvýšením vlhkosti z 11 % na více než 20 %, se snižuje tepelný odpor přibližně o 15 %. Při bližším zkoumání celulózových vláken bylo zjištěno, že obsah vlhkosti je střední hodnota, zatímco dánský výzkum se zabýval maximálním obsahem vlhkosti v celulózovém materiálu. Na exteriérové straně, kde je vlhkost poměrně vysoká, je celulózová tepelná izolace vystavena nízkým teplotám (zimní období) byly ve skladbách obvodových plášťů pozorovány 10 až 12 mm silné vrstvy ledu, což koresponduje s analýzou kondenzačních oblastí uvedené v této práci pro různé varianty obvodových plášťů, viz níže kondenzační zóny např. *Obr. 36.* či kap. 14.2.

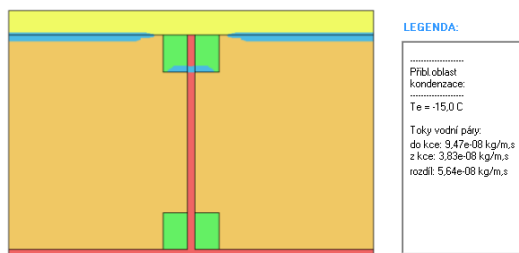
Z posudků obvodových plášťů jasně vyplývá, že dochází ve většině základních posuzovaných případů ke kondenzační zóně vodních par v celulózové tepelné izolaci Climatizer Plus viz *Obr. 36.* Při detailní analýze různých finálních tloušťek obvodových plášťů s optimalizovaným dřevěným prvkem bylo zjištěno, že téměř vždy dochází k nevyhovujícímu rozsahu kondenzační oblasti právě v Climatizeru Plus, což z pohledu [3] definuje obvodové pláště složené z (od interiéru): OSB deska  $\lambda = 0,013 \text{ W/m.K}$ ,  $\mu = 40$ , tl. 15 mm, Climatizer Plus  $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$ ,  $\mu = 1,1$ , různé tloušťky, dřevovláknitá deska UdiSPEED  $\lambda = 0,018 \text{ W/mK}$ ,  $\mu = 5$ , tl. 40 mm jako nevyhovující z pohledu množství zkondenzovaných vodních par. Výsledky jsou shrnuty v *Tab. 9.* Grafické zobrazení výsledků je možno nalézt na *Obr. 37* a *Obr. 38.* Z *Obr. 37* lze vyhodnotit, že při tloušťce tepelné izolace Climatizer Plus 450 mm dochází k maximálnímu množství kondenzátu. Naproti tomu množství vypařitelné množství vodní páry klesá se vzrůstající tloušťkou konstrukce, což je důsledek celkové tloušťky obvodového pláště a jeho parametru faktoru difuzního odporu  $\mu$ .



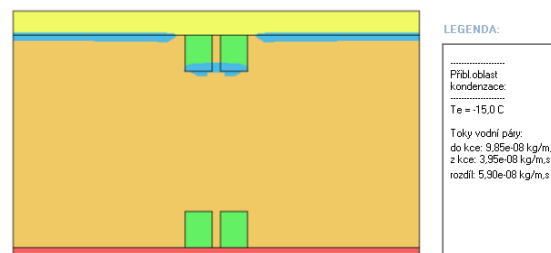


Zobrazení kondenzační zóny v řezu konstrukce - 1D

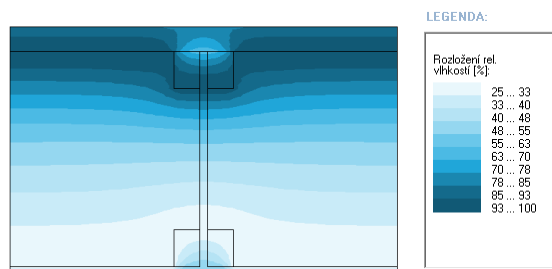
Zobrazení zvýšené relativní vlhkosti ve svislém řezu konstrukce - výpočet 3D



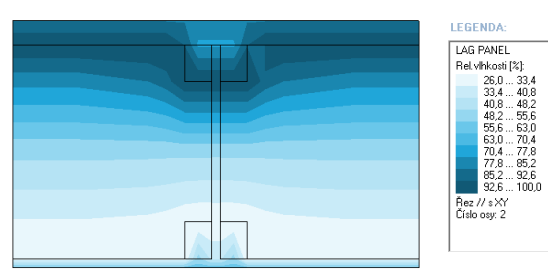
Zobrazení oblasti kondenzace v horizontálním řezu konstrukce ve spojně - výpočet 2D



Zobrazení oblasti kondenzace v horizontálním řezu konstrukce mimo spojnku - výpočet 2D



Zobrazení zvýšené relativní vlhkosti v horizontálním řezu konstrukce - výpočet 2D



Zobrazení zvýšené relativní vlhkosti v horizontálním řezu konstrukce - výpočet 3D

**Obr. 36 - Grafické výstupy rozboru vlhkostí a kondenzačních oblastí v obvodovém plášti: OSB (tl. 15 mm,  $\mu = 50$ ), Climatizer Plus (tl. 350 mm) a UdiSPEED (tl. 40 mm).**

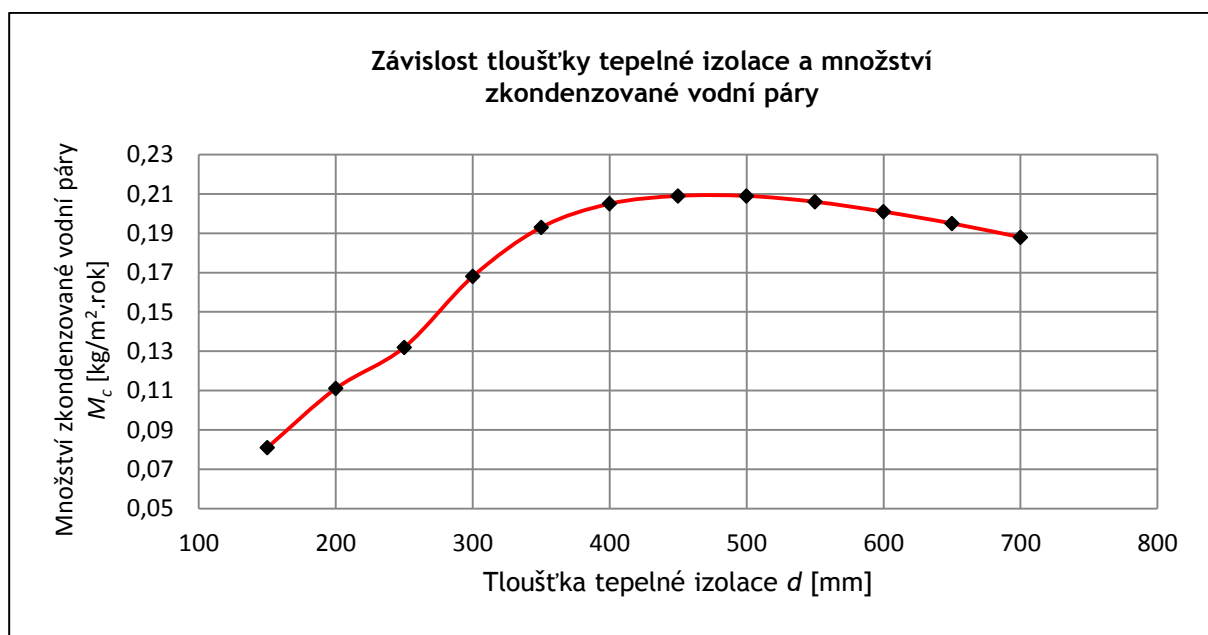
Jelikož se tato kapitola přímo týká vodní páry, prostupu vodní páry přes konstrukci či dokonce rizik kondenzace vodních par, již nyní jsou uvedeny tabulky (Tab. 9, Tab. 10, Tab. 19), které vyhodnocují základní skladby obvodového pláště (viz. Obr. 55) z pohledu množství kondenzátu. V Tab. 9 jsou uvedeny výsledky s interiérovou deskou OSB ( $\mu = 50$ ) ze kterých vyplývají nevyhovující skladby obvodových plášťů z pohledu kondenzace vodních par. Při zajištění interiérové

opláštějící desky s vyšším faktorem difuzního odporu např. OSB ( $\mu = 200$ ) je problém kondenzace vodních par v obvodovém plášti významně eliminován, z čehož plyne závěr, že interiérová deska by měla mít vyšší difuzní odpor a je tedy nutné z interiérové strany používat přesně definované materiály z pohledu faktoru difuzního odporu např. deska OSB 4 ( $\mu = 200$ ) či deska Flexibuild ( $\mu = 300$ ). Problematika kondenzace vodních par je tedy řešena záměnou standardní OSB desky ( $\mu = 50$ ) za OSB 4 TOP ( $\mu = 200$ ). Použití tohoto deskového materiálu z interiérové strany zajišťuje výraznou eliminaci vstupu vodních par do vrstev obvodového pláště, čímž je minimalizována problematika kondenzace vodních par. Viz Tab. 10.

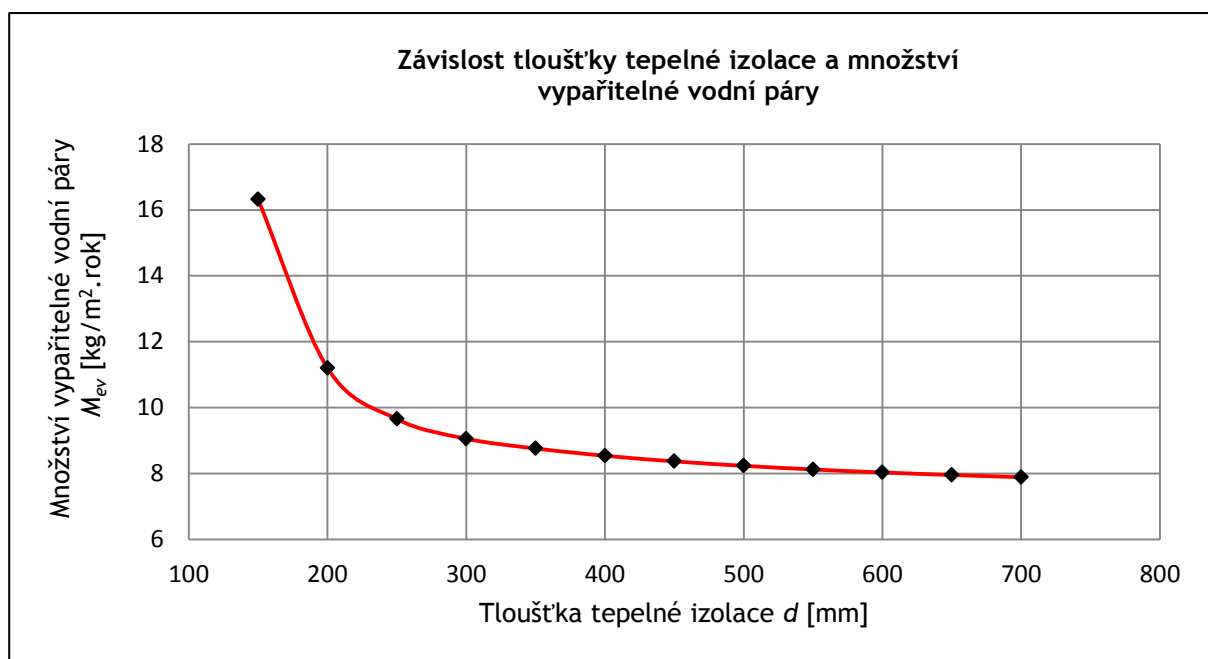
Tab. 9 - Přehled výsledků kondenzace vodních par: interiér OSB ( $\mu = 50$ )

Číslo skladby	Tloušťka izolace v obvodovém plášti <i>d</i> [mm]	Součinitel prostupu tepla <i>U</i> [W/m²·K]	Početní metody				Dle ČSN EN ISO 13788 tzn. roční cyklus		
			Dle ČSN 73 0540 - 2						
			<i>M<sub>c</sub></i> [kg/(m²·rok)]	<i>M<sub>ev</sub></i> [kg/(m²·rok)]	Kondenzace při teplotě nižší než:	Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 73 0540 - 2)			
1	150	0,263	0,0815	16,3190	-5 °C	Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí 0,341 kg/m²·rok (materiál: Climatizer Plus)	Bude použit limit pro max. množství kondenzátu 0,100 kg/m²·rok	vyhovuje	V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.
2	200	0,198	0,1115	11,2041	-5 °C			Nevyhovuje	
3	250	0,159	0,1315	9,6529	-5 °C				
4	300	0,132	0,1680	9,0573	0 °C				
5	350	0,114	0,1928	8,7607	0 °C				
6	400	0,099	0,2048	8,5401	0 °C				
7	450	0,088	0,2092	8,3698	0 °C				
8	500	0,080	0,2089	8,2344	0 °C				
9	550	0,072	0,2059	8,1242	0 °C				
10	600	0,066	0,2011	8,0329	0 °C				
11	650	0,061	0,1950	7,9560	0 °C				
12	700	0,057	0,1882	7,8903	0 °C				

Poznámka: Zdroj dat viz kap. 14.2.



Obr. 37 - Závislost tloušťky tepelné izolace a množství zkondenzované vodní páry.



Obr. 38 - Závislost tloušťky tepelné izolace a množství zkondenzované vodní páry.



Tab. 10 - Přehled výsledků kondenzace vodních par: interiér OSB ( $\mu = 200$ )

Číslo skladby	Tloušťka izolace v obvodovém plášti <i>d</i> [mm]	Součinitel prostupu tepla <i>U</i> [W/m <sup>2</sup> ·K] - 1D	Početní metody						
			Dle ČSN 73 0540 - 2				Dle ČSN EN ISO 13788 tzn. roční cyklus		
			<i>M<sub>c</sub></i> [kg/(m <sup>2</sup> ·rok)]	<i>M<sub>ev</sub></i> [kg/(m <sup>2</sup> ·rok)]	Kondenzace při teplotě nižší než:	Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 73 0540 - 2)			
1	150	0,26	Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.			Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí 0,170 kg/m <sup>2</sup> ·rok (materiál: Climatizer Plus)	Bude použit limit pro max. množství kondenzátu 0,100 kg/m <sup>2</sup> ·rok	Vyhovuje	V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.
2	200	0,20							
3	250	0,16							
4	300	0,13							
5	350	0,11							
6	400	0,10	0,0024	8,5215	-10 °C				
7	450	0,09	0,0048	8,3591	-10 °C				
8	500	0,08	0,0065	8,2303	-10 °C				
9	550	0,07	0,0078	8,1257	-10 °C				
10	600	0,07	0,0088	8,0393	-10 °C				
11	650	0,06	0,0095	7,9666	-10 °C				
12	700	0,06	0,0101	7,9048	-10 °C				

Poznámka: Zdroj dat viz kap. 14.2.

Dále bylo přistoupeno k ověřování a vyhodnocení obvodových plášťů rozšířeno o eliminaci ideálních materiálových charakteristik v obvodovém plášti na bázi dřeva. Často bývá do tepelně technických tabulek a početních softwarů [45], [46], [47] zaváděna hodnota faktoru difuzního odporu Climatizeru Plus  $\mu = 1,1$ , což je všeobecně přijímaná hodnota pro většinu vláknitých výplňových tepelných izolací. Měření prokázalo, že certifikovanou hodnotou faktor difuzního odporu Climatizeru Plus je  $\mu = 3$ , což přímo ovlivňuje průběh a kondenzace vodních par v obvodovém plášti. Bylo přistoupeno k detailní analýze vlivu vyšší hodnoty faktoru difuzního odporu při posuzování obvodových plášťů. Dosažené výsledky shrnuje Tab. 11.

Tab. 11 - Přehled výsledků kondenzace vodních par pro Climatizer Plus ( $\mu = 3$ )

Číslo skladby	Tloušťka izolace v obvodovém plášti $d$ [mm]	Součinitel prostupu tepla $U$ [W/m <sup>2</sup> ·K] - 1D	Početní metody						
			Dle ČSN 73 0540 - 2				Dle ČSN EN ISO 13788 tzn. roční cyklus		
			$M_c$ [kg/(m <sup>2</sup> ·rok)]	$M_{ev}$ [kg/(m <sup>2</sup> ·rok)]	Kondenzace při teplotě nižší než:	Požadavky na šíření vlhkosti konstrukci (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 73 0540 - 2)			
1	150	0,26	Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.			Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí 0,170 kg/m <sup>2</sup> ·rok (materiál: Climatizer Plus)	Bude použit limit pro max. množství kondenzátu 0,100 kg/m <sup>2</sup> ·rok	Vyhovuje	V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.
2	200	0,20							
3	250	0,16							
4	300	0,13							
5	350	0,11							
6	400	0,10							
7	450	0,09							
8	500	0,08							
9	550	0,07							
10	600	0,07	0,001	8,0610	-10 °C				
11	650	0,06	0,001	6,6410	-10 °C				
12	700	0,06	0,002	5,8530	-10 °C				

Poznámka: Zdroj dat viz kap. 14.2.

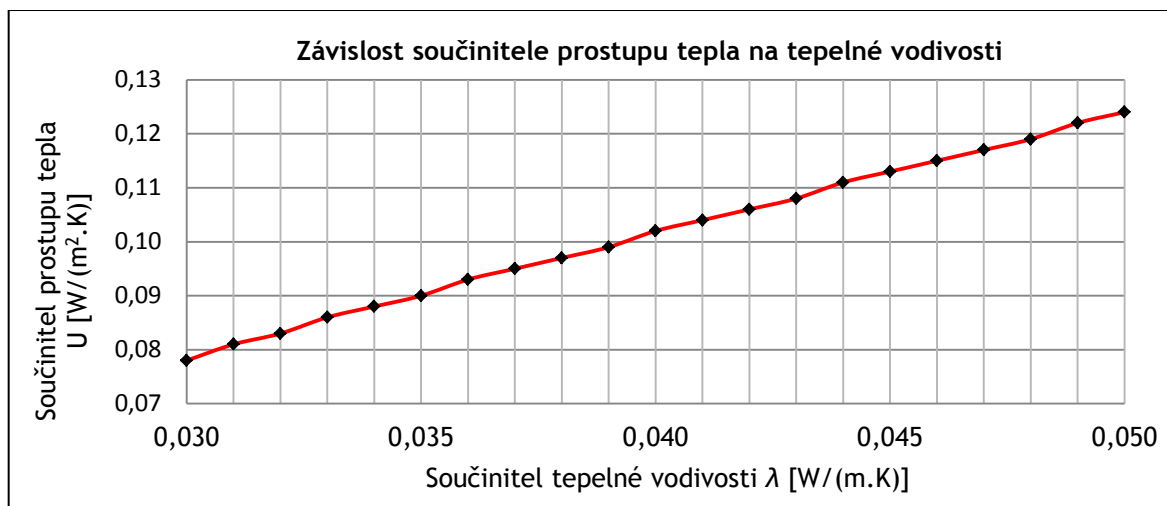
Dle výše uvedeného popisu materiálů vláknitých izolací (kap. 7.3.2) a jejich tepelně technických parametrů, lze pro různé materiály či směsi předpokládat obdobné výsledky při jejich aplikaci v obvodových pláštích

## 8.2 Součinitel tepelné vodivosti celulózy

Mění se součinitel tepelné vodivosti může výrazně ovlivnit součinitel prostupu tepla. Pro základní rozsah součinitele tepelné vodivosti  $\lambda = 0,030$  až  $0,050 W/m \cdot K$  se může u základní skladby obvodového pláště (Obr. 55) měnit součinitel prostupu tepla  $U$  pohybovat v rozmezí  $0,078$  až  $0,124 W/m^2 \cdot K$  (viz Tab. 12), což zhoršuje výslednou hodnotu součinitele prostupu tepla až o plných 63 %! Z čehož vyplývá, že je velmi důležité sledovat parametry součinitele tepelné vodivosti materiálu, a proto je v disertační práci toto velmi pečlivě vyhodnocováno. Grafické vyobrazení nárůstu součinitele prostupu tepla obvodového pláště je možno nalézt v Obr. 39.

Tab. 12 - Hodnoty naměřených průměrných objemových hmotností a součinitelů tepelných vodivostí vzorků celulózy

	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m.K)]	Součinitel prostupu tepla $U$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]
1	0,030	0,078
2	0,031	0,081
3	0,032	0,083
4	0,033	0,086
5	0,034	0,088
6	0,035	0,090
7	0,036	0,093
8	0,037	0,095
9	0,038	0,097
10	0,039	0,099
11	0,040	0,102
12	0,041	0,104
13	0,042	0,106
14	0,043	0,108
15	0,044	0,111
16	0,045	0,113
17	0,046	0,115
18	0,047	0,117
19	0,048	0,119
20	0,049	0,122
21	0,050	0,124

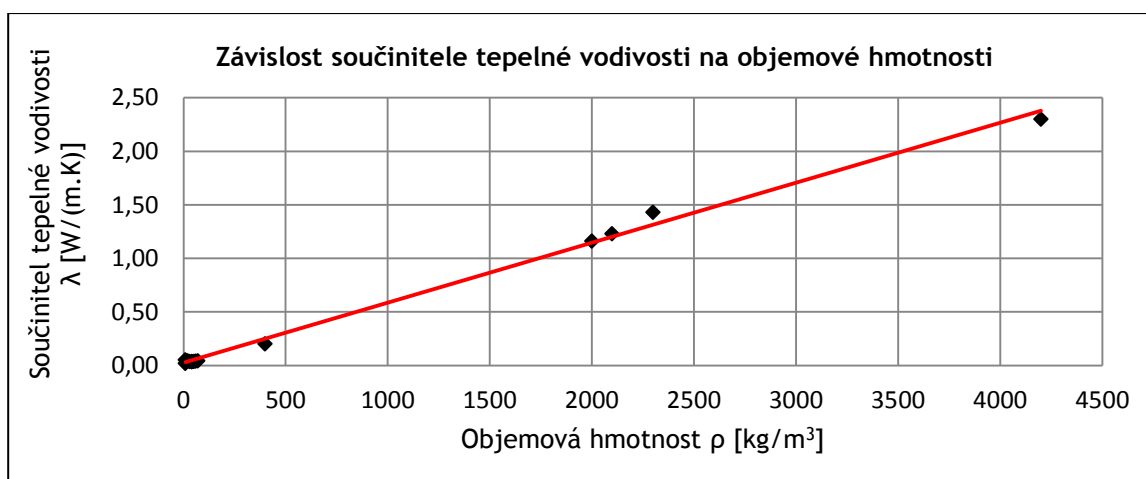


Obr. 39 - Graf závislosti součinitele prostupu tepla na součiniteli tepelné vodivosti.

Na hodnotu součinitele tepelné vodivosti má také značný vliv objemová hmotnost. Teoretickými studiemi i experimentální činností bylo ověřeno, že s rostoucí objemovou hmotností roste i součinitel tepelné vodivosti [8]. Viz *Tab. 13* a *Obr. 40*.

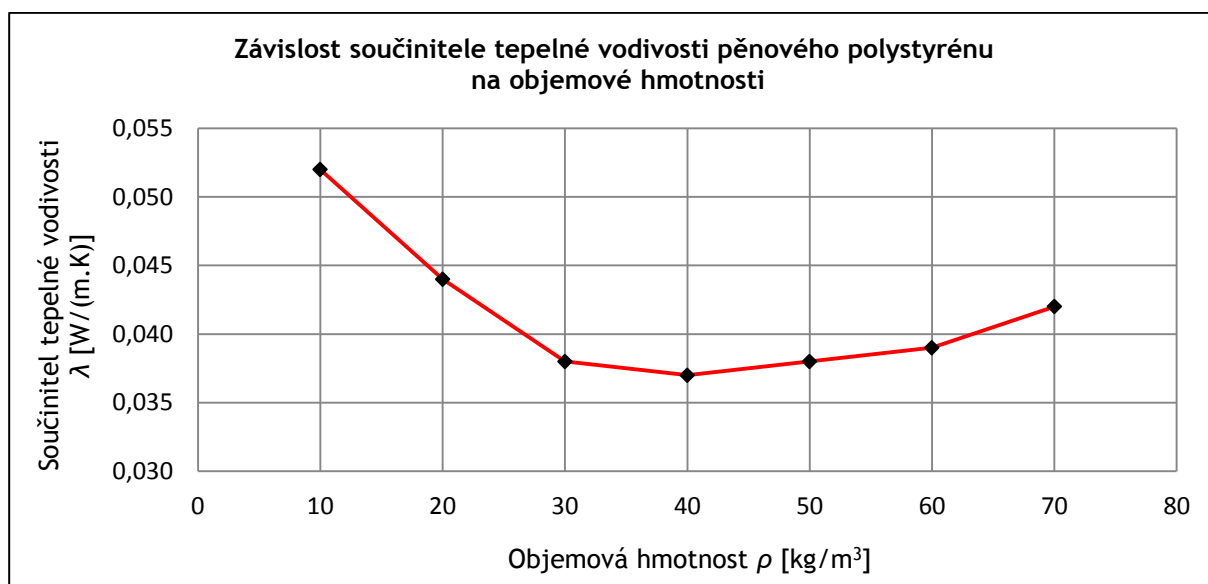
*Tab. 13 - Vybrané materiály a jejich objemové hmotnosti a součinitel tepelné vodivosti*

Materiál	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m.K)]
Železo	7 870	80,2
Led	4200	2,30
Železobeton	2300	1,43
Beton hutný	2100	1,23
Malta cementová	2000	1,16
Dřevo	400	0,4 - 0,18
Polystyren	40	0,035
Aerogel	3 - 350	0,004 - 0,030



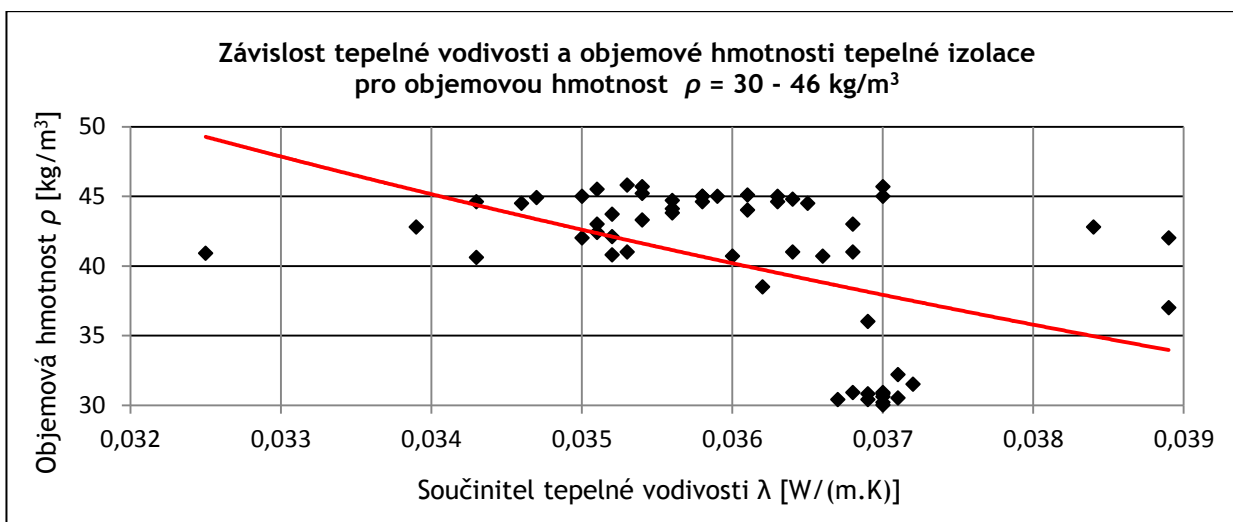
*Obr. 40 - Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti.*

Výše uvedená informace obecně platí při rozsáhlých hodnotách objemových hmotností. Disertační práce je přednostně zaměřena na materiály, které lze definovat jako tepelné izolanty o objemových hmotnostech v rozmezí  $\rho = 10$  až  $100 \text{ kg/m}^3$ . Při sledování hodnot součinitele tepelné vodivosti bylo zjištěno, že uvedená informace pro daný rozsah objemových hmotností neplatí bezvýtku. Viz (*Obr. 41*) grafické zobrazení závislosti objemové hmotnosti a součinitele tepelné vodivosti pro pěnový polystyren.

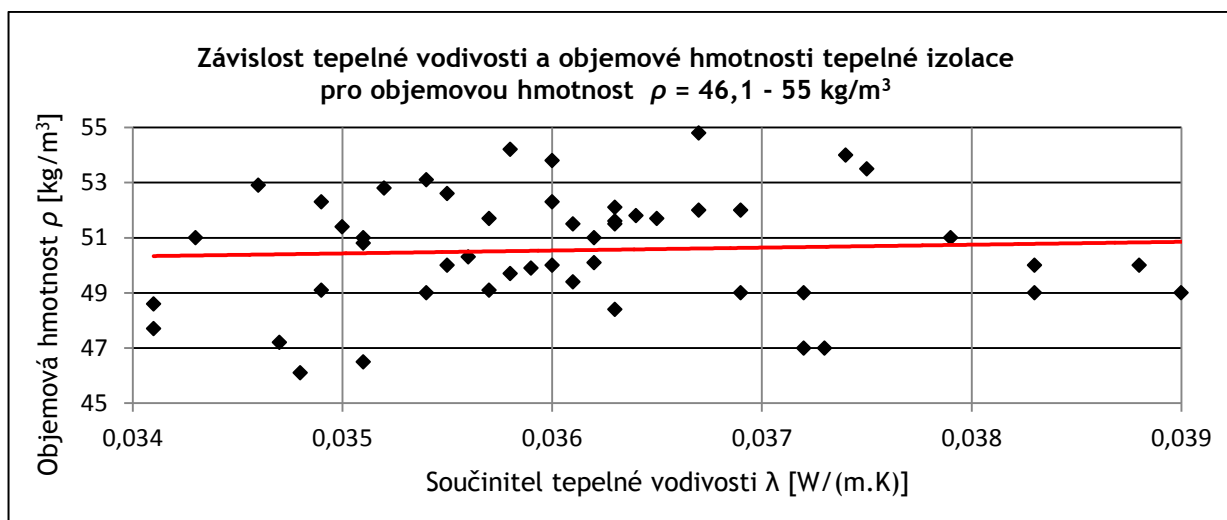


*Obr. 41 - Závislost součinitele tepelné vodivosti pěnového polystyrénu na objemové hmotnosti.*

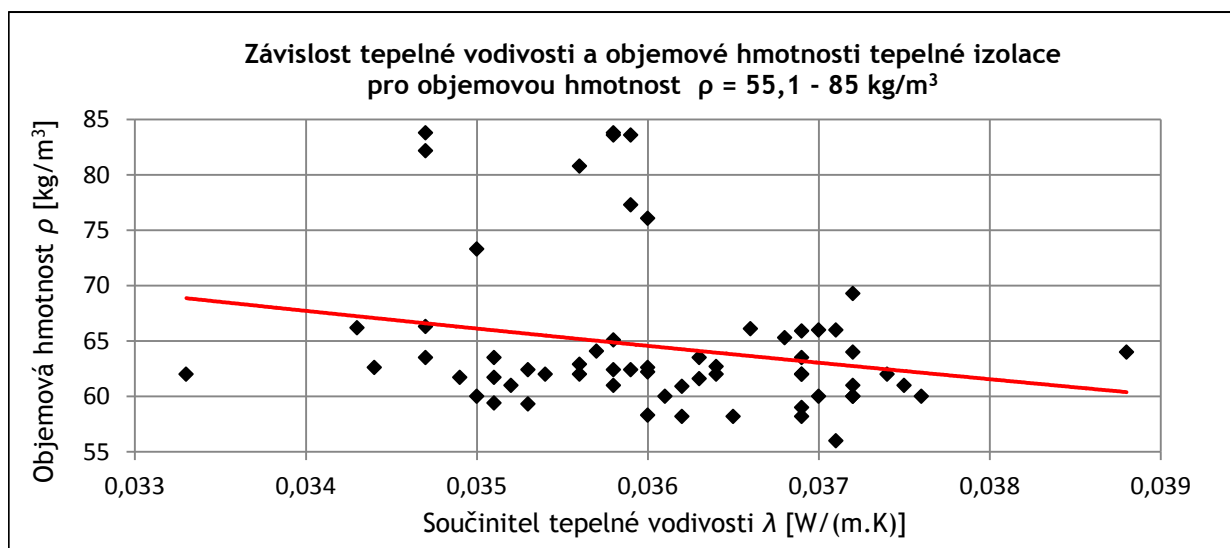
Při detailní analýze laboratorně naměřených hodnot 186 vzorků součinitele tepelné vodivosti Climatizeru Plus z let 2007 až 2012 bylo zjištěno, že v případě celulózových materiálů výše uvedená poučka doslovně neplatí. Uvedené grafické závislosti součinitele objemové hmotnosti a součinitele tepelné vodivosti pro Climatizer Plus jsou toho nezvratným důkazem. Jelikož jsou různé objemové hmotnosti celulózových vláken předurčeny pro různé (horizontální, volně sypané, vertikální) možnosti použití, byly veškeré vzorky rozděleny do patřičných intervalů, které přesněji dávají přehled o naměřených hodnotách pro intervaly objemových hmotností. Na *Obr. 42*, *Obr. 43*, *Obr. 44*. a v *Tab. 14* jsou přehledně sumarizovány průměrné hodnoty naměřených součinitelů tepelných vodivosti pro dané materiály. Ze 186 vzorků je stanovena průměrná naměřená hodnota součinitele tepelné vodivosti pro Climatizer Plus napříč všemi objemovými hmotnostmi materiálu na zaokrouhlenou hodnotu  $\lambda = 0,036$  W/m.K. Z grafického vyobrazení *Obr. 45* lze uvést závěr, že Climatizer Plus má nejlepší součinitel tepelné vodivosti přibližně při objemové hmotnosti  $\rho = 50$  kg/m<sup>2</sup>.



*Obr. 42 - Závislost součinitele tepelné vodivosti a objemové hmotnosti tepelné izolace Climatizer Plus  $\rho = 30 - 46 \text{ kg/m}^3$ .*



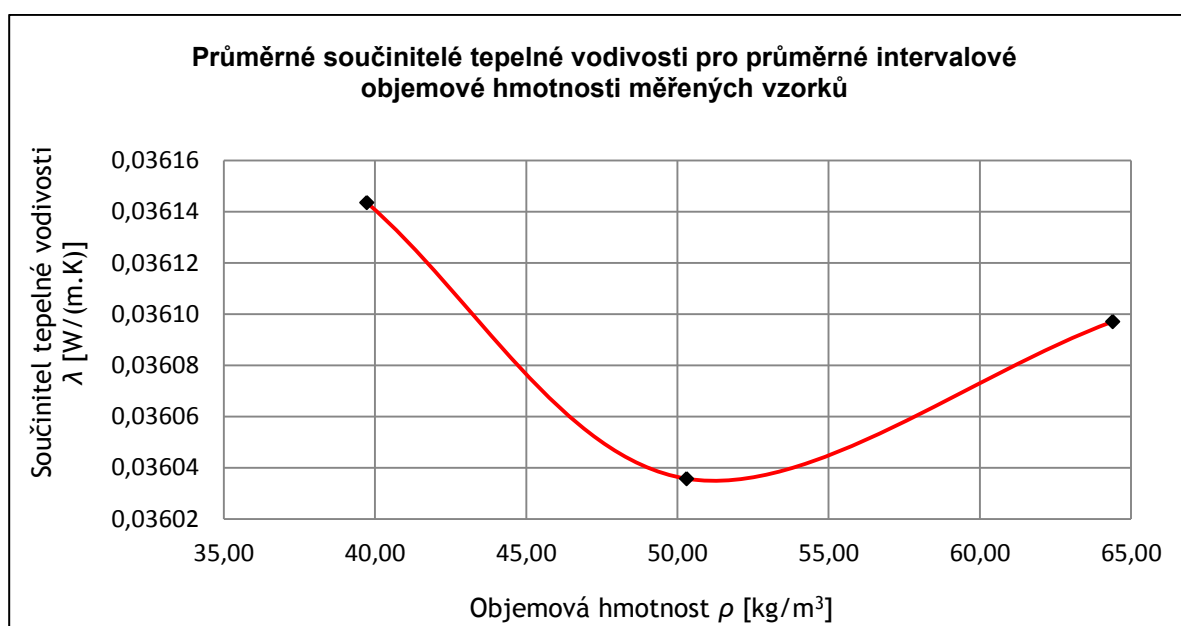
*Obr. 43 - Závislost součinitele tepelné vodivosti a objemové hmotnosti tepelné izolace Climatizer Plus  $\rho = 46,1 - 55 \text{ kg/m}^3$ .*



*Obr. 44 - Závislost součinitele tepelné vodivosti a objemové hmotnosti tepelné izolace Climatizer Plus  $\rho = 55,1 - 85 \text{ kg/m}^3$ .*

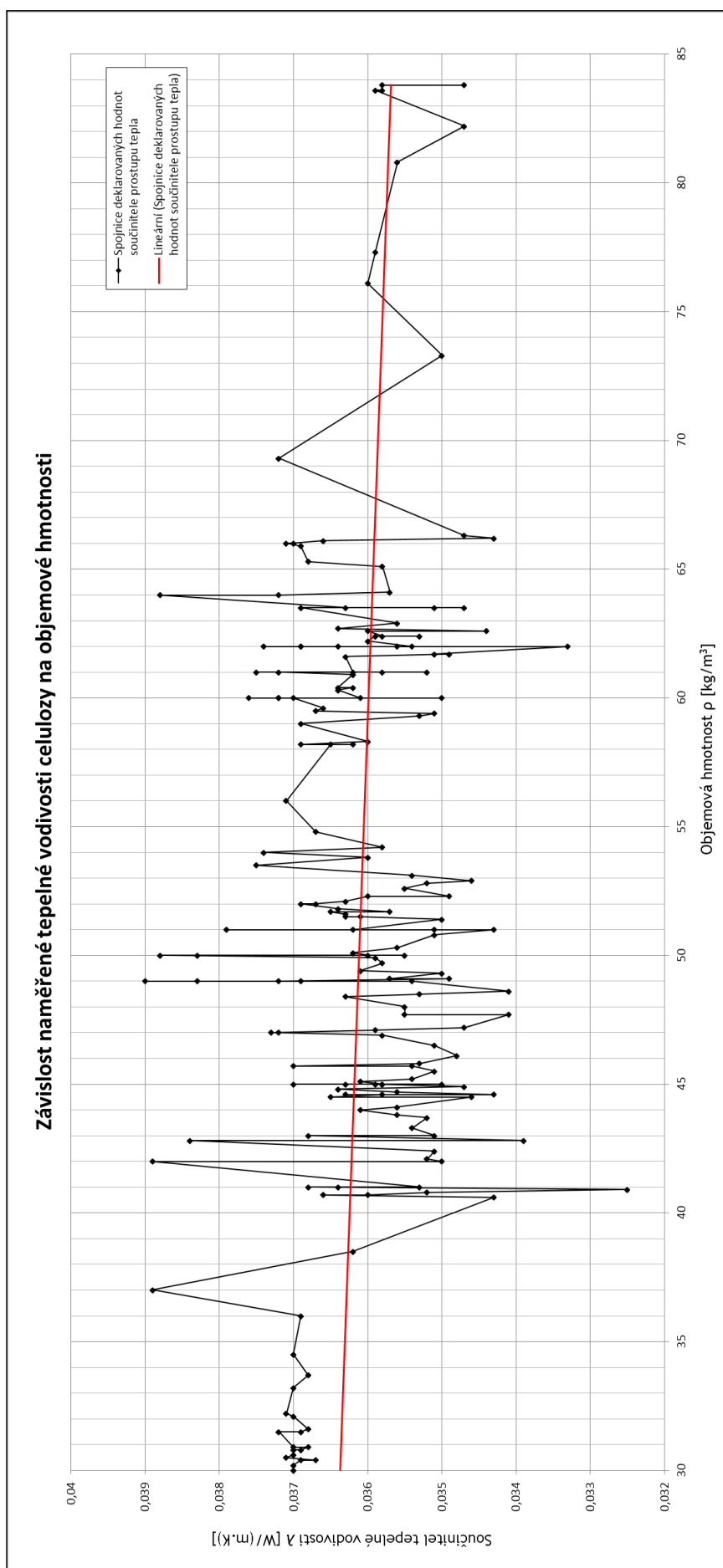
Tab. 14 - Hodnoty naměřených průměrných objemových hmotností a součinitelů tepelných vodivostí celulózy

Intervaly	Počet vzorků (celkem 186 ks)	Průměrná objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná deklarovaná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K]
Interval I ( $\rho = 30 - 46$ kg/m <sup>3</sup> )	62	39,73	0,036144
Interval II ( $\rho = 46,1 - 55$ kg/m <sup>3</sup> )	56	50,30	0,036035
Interval III ( $\rho = 55,1 - 85$ kg/m <sup>3</sup> )	68	64,39	0,036097
Průměr		41,40	0,0361



Obr. 45 - Graf průměrných součinitelů tepelných vodivostí Climatiseru Plus pro průměrné intervalové objemové hmotnosti.

V Obr. 46 jsou graficky vyjádřeny veškeré naměřené hodnoty s proloženou střední přímkovou spojnicí trendů, která v průměru všech naměřených hodnot dokazuje, že čím větší objemová hmotnost Climatiseru Plus, tím je nižší součinitel tepelné vodivosti.



Obr. 46 - Závislost deklarované tepelné vodivosti celulózy na objemové hmotnosti.

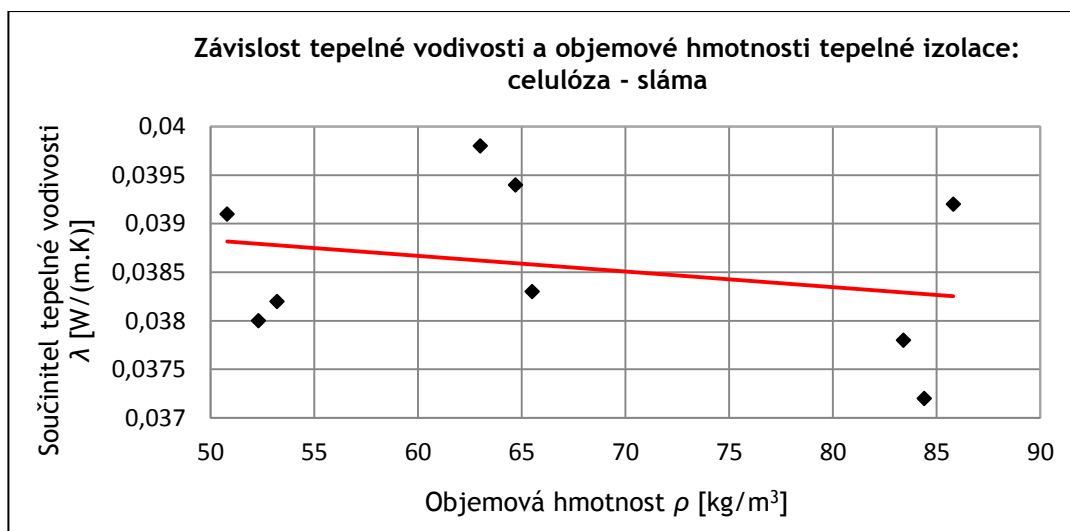


V únoru 2011 byly provedeny zkoušky stanovení součinitele tepelné vodivosti tepelně izolačního materiálu celulózy se slámou. Předmětem zkoušky bylo měření součinitele tepelné vodivosti při střední teplotě 10 °C. Zkušební vzorky celulózy se slámou o rozměrech cca 500 x 500 x 100 mm byly vyrobeny a uloženy ve skladu firmy CIUR. V září 2011 byly vzorky dopraveny do TZÚS Praha, s.p. pobočka České Budějovice. Celkem bylo dodáno 9 ks vzorků. Zde byly označeny číslem vzorku a do doby zkoušky uloženy v laboratorních podmínkách ( $23 \pm 2$  °C/50 + 5 % relativní vlhkosti). Prostor nosného dřevěného rámu stěny tl. 160 mm byl vyplněn foukanou izolací ze směsi celulózy Climatizer Plus (50 %) a slaměné řezanky (50 %).

V Tab. 14 jsou přehledně sumarizovány průměrné hodnoty deklarovaných tepelných vodivostí pro směs celulóza - sláma. Rovněž je zde uvedeno devět vzorků, z kterých je stanovena průměrná naměřená hodnota součinitele tepelné vodivosti napříč všemi objemovými hmotnostmi materiálu na zaokrouhlenou hodnotu  $\lambda = 0,039$  W/m.K. Z grafického vyobrazení Obr. 45 lze uvést závěr, že podobně jako u Climatizeru Plus, tak u směsi celulóza - sláma můžeme z naměřených hodnot s proloženou střední přímkovou spojnicí trendů, říci že čím je větší objemová hmotnost směsi, tím je nižší součinitel tepelné vodivosti. Z Tab. 14 vyplývá fakt, že průměrná hodnota součinitele tepelné vodivosti odpovídá objemové hmotnosti  $\rho = 67,00$  kg/m<sup>3</sup>. Vyšší průměrná objemová hmotnost pramení z faktu, že již samotná drcená sláma, která je 50% složkou směsi dosahuje sama o sobě vyšší objemové hmotnosti než samotná celulózová vlákna. Jelikož se jedná o novou směs přírodních materiálů, není zatím provedeno více měření součinitele tepelné vodivosti. Proto hodnoty výsledných hodnot je nutno brát s jistou tolerancí.

Tab. 15 - Hodnoty deklarovaných tepelných vodivostí pro směs celulóza - sláma

Číslo vzorku	Předepsaná objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Skutečná objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m.K)]
1	50	50,8	0,0391
2	50	52,3	0,0380
3	50	53,2	0,0382
4	65	65,5	0,0383
5	65	63,0	0,0398
6	65	64,7	0,0394
7	90	85,8	0,0392
8	90	84,4	0,0372
9	90	83,4	0,0378
Průměr		67,01	0,0386

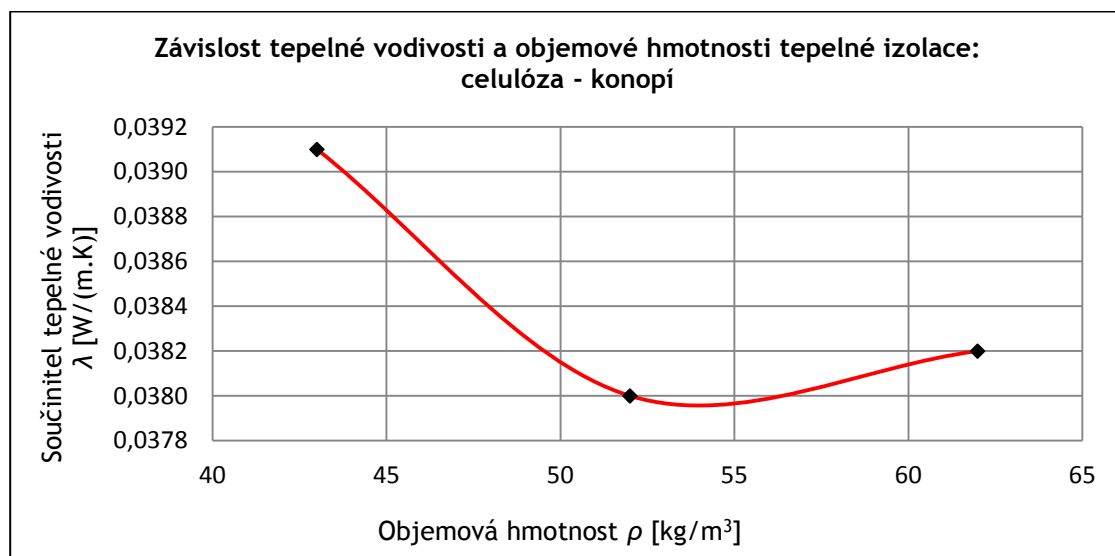


*Obr. 47 - Graf závislosti součinitele tepelné vodivosti a objemové hmotnosti tepelné izolace: celulóza - sláma.*

V Tab. 14 jsou přehledně sumarizovány průměrné hodnoty deklarovaných součinitelů tepelných vodivostí pro směs celulóza - konopí, a které ze tří vzorků stanovují průměrnou naměřenou hodnotu součinitele tepelné vodivosti napříč objemovými hmotnostmi materiálu na zaokrouhlenou hodnotu  $\lambda = 0,038 \text{ W/m.K}$ . Z Tab. 16 vyplývá fakt, že průměrná hodnota součinitele tepelné vodivosti odpovídá objemové hmotnosti  $\rho = 52,30 \text{ kg/m}^3$ . Z grafického vyobrazení Obr. 48 lze uvést závěr, že směs celulóza - konopí má nejlepší součinitel tepelné vodivosti přibližně při objemové hmotnosti  $\rho = 52 \text{ kg/m}^3$ . Jelikož se jedná o novou směs přírodních materiálů, není zatím provedeno více měření součinitele tepelné vodivosti. Výsledné hodnoty je tedy nutno brát s určitou rezervou.

*Tab. 16 - Hodnoty deklarovaných tepelných vodivostí pro směs celulóza - konopí*

Číslo vzorku	Skutečná objemová hmotnost $\rho$ [kg/m³]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m.K)]
1	43,0	0,0391
2	52,0	0,0380
3	62,0	0,0382
Průměr	52,3	0,0384



*Obr. 48 - Graf závislosti součinitele tepelné vodivosti a objemové hmotnosti tepelné izolace: celulóza - konopí.*

Z uvedených grafů vyobrazených (např. *Obr. 45, Obr. 48*) jasně vyplývá, že vláknité přírodní materiály mají podobné tepelně izolační vlastnosti jako pěnový polystyrén (*Obr. 41*). Vláknité přírodní materiály vykazují nejlepší hodnoty součinitele prostupu tepla  $\lambda$  při objemové hmotnosti cca  $\rho = 50 \text{ kg/m}^3$ . Tyto nejvýhodnější parametry vycházejí z ideálního poměru materiálu vláken uzavřených pórů vzduchu (viz *Tab. 6*). Tzn. materiál ve své struktuře uzavírá právě ideální množství vzduchových pórů. Při vyšších objemových hmotnostech vykazují materiály součinitel tepelné vodivosti lehce vyšší, což je způsobeno větším množstvím vláknitého materiálu oproti vzduchu, z čehož vyplývá větší vedení tepla hmotou vláken, kde je již tepelně izolační vlastnost vzduchu potlačována. Naproti tomu při nižších hodnotách objemové hmotnosti nastává stav opačný. Vláknitého materiálu je méně, póry vzduchu začínají v objemu převažovat, čímž dochází k šíření tepla i jinými formami než vedením a to má negativní vliv na tepelně izolační vlastnosti materiálu.

Z výše uvedeného lze učinit závěr, že se vláknité přírodní materiály mohou stát přímými konkurenty průmyslově vyráběným tepelně izolačním materiálům.

Dle ČSN EN ISO 10456 [27] se požaduje pro výpočty přenosu tepla a vlhkosti použít návrhové hodnoty tepelných a vlhkostních vlastností materiálů odpovídající jejich použití ve stavbách. Výrobci uvádějí nejčastěji tzv. deklarovanou hodnotu součinitele tepelné vodivosti, která zhruba odpovídá charakteristické hodnotě ve smyslu ČSN 73 0540 [3]. Deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti je hodnota materiálu nebo výrobku stanovená z naměřených hodnot při referenčních podmínkách teploty a vlhkosti, daná pro určený podíl pokrytí

a konfidenční úroveň a odpovídající předpokládané době životnosti za normálních podmínek. Pro vyloučení přepočtů deklarovaných hodnot se doporučuje, aby měření byla prováděna za podmínek odpovídajících vybrané skupině podmínek uvedených v ČSN EN ISO 10456 [27]. Dle této normy jsou naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti, uvedené v této disertační práci, získané z TZÚS (Technický a zkušební ústav stavební) souborem podmínek „Ib“ tzn. s referenční teplotou 10 °C, a rovnovážnou vlhkostí vzorku při 23 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 %. Deklarovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti je odhadnutá hodnota zaokrouhlená dle pravidla, že pokud je  $\lambda \leq 0,08 \text{ W/m.K}$ , tak se hodnota zaokrouhluje na nejbližší 0,001 W/m.K [27], což je v disertační práci dodrženo při matematickém posuzování. Pro demonstraci dosažených výsledků jsou často hodnoty součinitele prostupu tepla uvedeny na více desetinných míst. Návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti je hodnota součinitele tepelné vodivosti stavebního materiálu nebo výrobku při specifických vnějších a vnitřních podmínkách, které lze považovat za typické pro chování tohoto materiálu nebo výrobku zabudovaného do stavebního dílce [27].

Návrhovou hodnotu součinitele tepelné vodivosti obvykle výrobci neuvádějí. Návrhové hodnoty mohou být stanoveny z deklarovaných hodnot, které vycházejí z naměřených hodnot vlastností výrobku, který je obvykle tepelně izolačním materiálem.

Tam, kde se podmínky návrhu liší od podmínek pro stanovení deklarovaných hodnot, musí být údaje přepočteny na podmínky použití. Součinitelé tepelné vodivosti běžných stavebních materiálů lze převzít bez dalších úprav z normových tabulek nebo z důvěryhodných podkladů výrobců, pokud podle ČSN 730540-3 částečný tlak vodní páry ve vnitřním vzduchu nepřesahuje hodnotu 1538 Pa. Pro vnitřní konstrukce, v nichž nedochází ke kondenzaci vodní páry, lze přitom použít tzv. charakteristickou tepelnou vodivost, zatímco pro vnější konstrukce je vždy nutné použít její návrhovou hodnotu. Přesný výpočet lze provést také dle ČSN 73 0540 [3], ale většinou nejsou pro velkou většinu tepelně izolačních materiálů k dispozici všechny potřebné materiálové charakteristiky (např. materiálové převodní součinitele). Zvýšení hodnoty  $\lambda$  z deklarované na návrhovou hodnotu závisí na typu materiálu a na způsobu jeho zabudování do konstrukce.

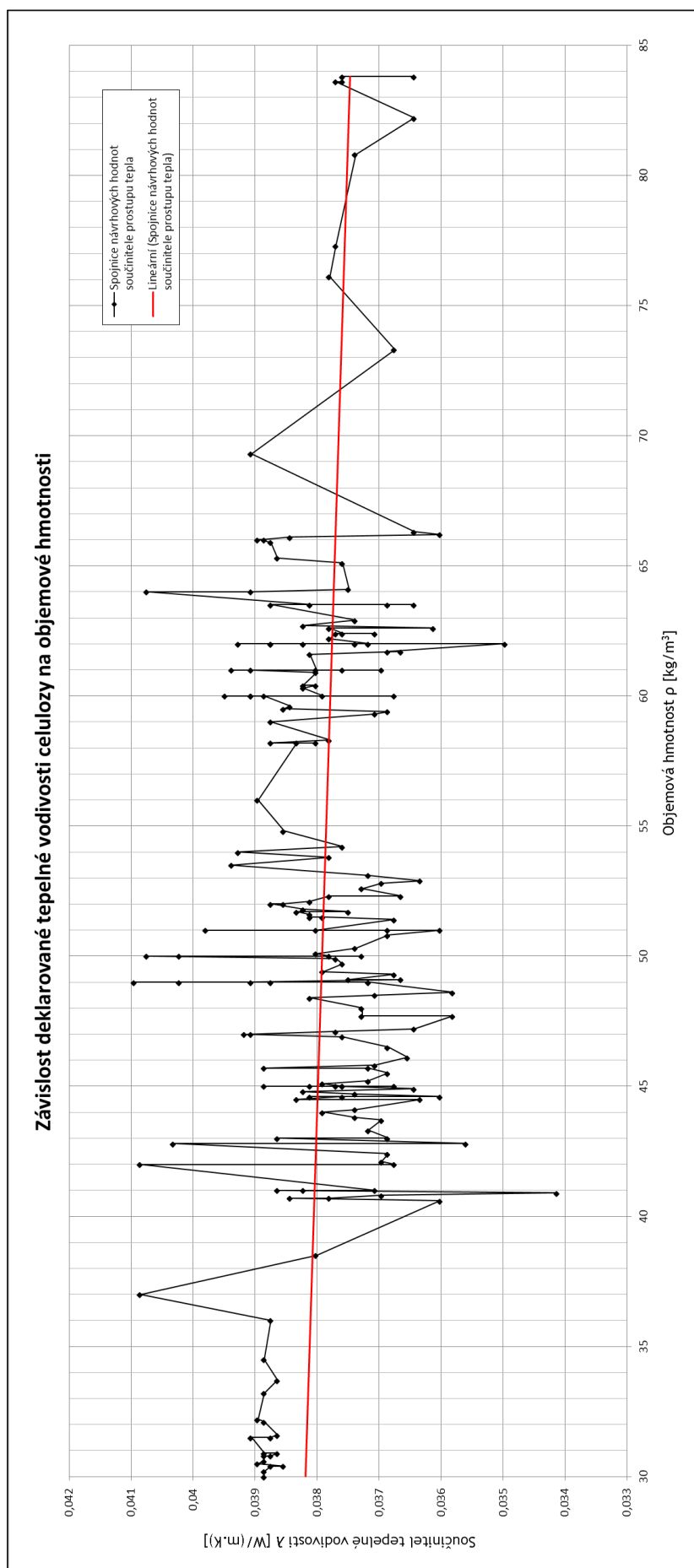
Z těchto důvodů je v disertační práci věnována zvýšená pozornost ověřování a vyhodnocení obvodových plášťů včetně eliminace ideálních fyzikálně materiálových stavů v obvodovém plášti na bázi dřeva, viz výše. Pro stanovení výpočtové hodnoty součinitele tepelné vodivosti materiálu často v současnosti nezbyvá nic jiného, než odhadem zvýšit známý součinitel tepelné vodivosti materiálu (např. její deklarovanou hodnotu) tak, aby byla hodnota co nejreálnější.

Obvykle v těchto případech postačuje zvýšit součinitel tepelné vodivosti materiálů cca o 2 až 10 %. U minerálních vláken lze použít jako odhad zvýšení o 10 %, u pěnových polystyrénů o 2 - 3 %. Bylo tedy přistoupeno k hodnotové úpravě degradace součinitele tepelné vodivosti Climatizeru Plus z naměřených hodnot o 5 %. Základní změny hodnot viz *Tab. 17*, která definuje na základě měřených vzorků deklarovanou hodnotu součinitele tepelné vodivosti pro Climatizer Plus  $\lambda = 0,038 \text{ W/m.K}$ . Tato hodnota je použita jako návrhová do všech výpočtů provedených v této disertační práci.

*Tab. 17 - Hodnoty průměrných objemových hmotností a deklarovaných součinitelů tepelných vodivostí celulózy*

Intervaly	Počet vzorků (celkem 186 ks)	Průměrná objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná deklarovaná tepelná vodivost $\lambda$ [W/m.K]
Interval I ( $\rho = 30 - 46 \text{ kg/m}^3$ )	62	39,73	0,037951
Interval II ( $\rho = 46,1 - 55 \text{ kg/m}^3$ )	56	50,30	0,037838
Interval III ( $\rho = 55,1 - 85 \text{ kg/m}^3$ )	68	64,39	0,037902
Průměr		41,40	0,0379

Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla  $\lambda = 0,038 \text{ W/m.K}$  odpovídá hodnotě, kterou uvádí výrobce. Přínosem analýzy hodnot součinitele prostupu tepla  $\lambda$  je stanovení přesné deklarované hodnoty pro různé intervaly objemové hmotnosti  $\rho$ . V *Obr. 49* jsou graficky vyjádřeny veškeré deklarované hodnoty s proloženou střední přímkovou spojnicí trendů, která v průměru všech naměřených hodnot dokazuje, že čím je větší objemová hmotnost Climatizeru Plus, tím je nižší součinitel tepelné vodivosti, což lze vysledovat i ve výše uvedených grafech.



Obr. 49 - Závislost návrhové tepelné vodivosti celulózy na objemové hmotnosti.

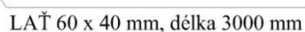
## 9 OPTIMALIZOVANÝ PRVEK OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ DŘEVOSTAVEB

### 9.1 Základní popis optimalizovaného prolamovaného prvku

Do lehkých dřevěných sloupkových konstrukcí často bývají vkládány tepelné izolace, někdy dochází k nedokonalému umístění deskových tepelných izolací a vznikají další tepelně technické nedostatky. S vrstvením tepelných deskových izolací se zvyšuje pracnost spojená s potřebou pečlivého kladení jednotlivých vrstev na sebe, aby se spáry překrývaly a aby nevznikaly nehomogenní vrstvy s dutinami. Vhodné řešení nabízejí výplňové izolace, které tento problém výrazně minimalizují. Díky technologii aplikace je konstrukce skutečně izolována a je zaručena dokonalá izolace beze spár. Chyby klasické deskové izolace v detailech a vznik tepelných mostů jsou téměř vyloučeny. Výhodou aplikací foukaných izolací je jednoduchá manipulace, tzn. bez měření, řezání a ukládání, čímž odsouvá klasické deskové tepelné izolace do pozadí. Za ideálních podmínek je zateplení foukanou izolací řešitelné ve všech problematických detailech, jelikož izolace okopíruje a vyplní veškeré nerovnosti izolovaného prostředí. Aplikace umožňuje tedy izolovat komplikovaná a těžko dostupná místa. Při aplikaci nevzniká ani žádný odpad. Jak již bylo zmíněno, v současné době je potřeba řešit obvodové pláště s umístěním masivní tepelné izolace nejlépe 350 mm a více, nejlépe bez tepelných mostů. Technicky elegantním řešením je použití prolamovaných dřevěných I nosníků (*Obr. 50*), které člení obvodové pláště na segmenty o vzdálenosti daných nosníků. Nevýhodou staticky do extrému vylehčené konstrukce je větší technická náročnost provedení konstrukčních detailů či styčníky spojů. Optimalizovaný prvek má oproti dnešním systémům dřevostaveb základní řadu výhod. Výhodou je, že tepelná izolace je použita v jedné kompaktní vrstvě, kterou není nutno kotvit či povrchově upravovat, jelikož je tepelná izolace plněna přímo mezi nosné prvky dřevostavby. Instalace tepelné izolace do obvodového pláště mezi nosné prvky v celé šíři zajišťuje celkové snížení tloušťky stěny, čímž se snižuje zastavěná plocha u celkové plochy objektu. Stěnová konstrukce menší tloušťky přispívá ke zvětšení vnitřního prostoru nebo umožňuje zmenšení vnějšího obvodu stavby při zachování podlahových ploch [53]. Obvodové pláště plní v rámci stavebního díla obvykle více funkcí. Tyto funkce jsou integrovány v obvodovém plášti budovy. Na základě výše uvedených skutečností je vyvinut nový konstrukční dřevěný prvek pro obvodové pláště budov (*Obr. 50*). Prvek je vyroben z menších konstrukčních nosných prvků (*Obr. 51*). Z nosných latí z rostlého dřeva, které přenášejí zatížení a jsou stabilizovány ve svých pozicích OSB vložkami a vnějším opláštěním. Náhradu stojiny tvoří sklotextilní síťovina (perlínka), difuzní folie či netkaná textilie, která zajišťuje dělení obvodového pláště na komory s možností perforací při použití nové technologie aplikace foukaných izolací.




*dřevovláknitou desku a OSB.*



*pro foukané izolace.*

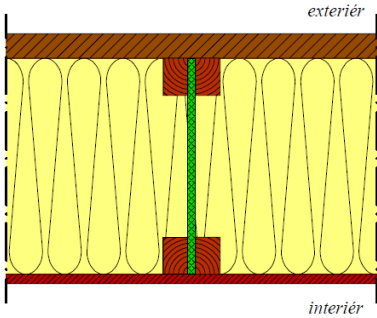
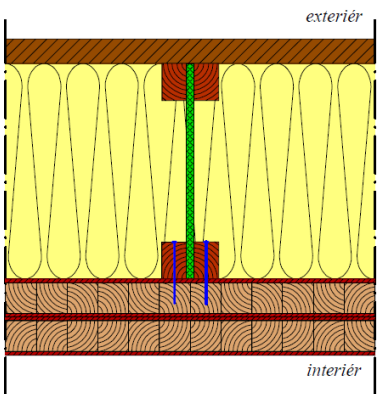
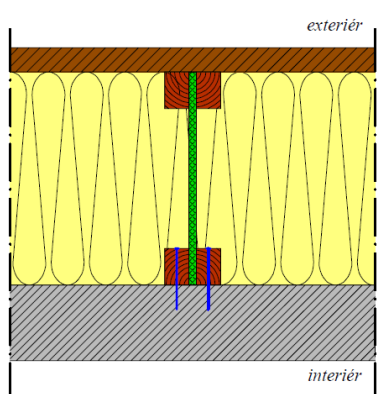


Užitný vzor je průmyslová ochrana, která je poskytována technickým řešením, která jsou průmyslově využitelná. Novost technického řešení je přitom posouzena dle aktuálního stavu techniky. Průmyslová využitelnost užitého vzoru je posouzena dle toho, zda může být dané řešení opakovaně využíváno v hospodářské činnosti. V současnosti je základnímu prvku, který je předmětem disertační práce, udělen užitný vzor č. 22209 s názvem „Víceúčelový dřevěný nosný prvek pro stavby zateplené foukanou izolací.“, jehož původci jsou Ing. Jiří Labudek a Ing. Petr Agel. Přihlašovatelem a majitelem je Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Dnem zápisu 16. 05. 2011 je zmíněný užitný vzor evidován v národní databázi na Úřadu průmyslového vlastnictví. Konstrukční systém na bázi dřeva je výhradně určen pro stavby menšího charakteru v parametrech pasivní výstavby. Oblast vývoje je již v současnosti rozšířena o užitný vzor č. 23446. „Víceúčelový ocelový nosný prvek pro stavby zateplené foukanou izolací“, jehož původci jsou Ing. Jiří Labudek a Ing. Petr Agel. Přihlašovatelem a majitelem je Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Dnem zápisu 27. 02. 2012 je zmíněný užitný vzor evidován v národní databázi na Úřadu průmyslového vlastnictví. Ocelový konstrukční systém je výhradně určen pro stavby většího charakteru v parametrech pasivní výstavby.

UŽITNÝ VZOR	
<p>(19) ČESKÁ REPUBLIKA</p>  <p>ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ</p>	<p>(21) Číslo přihlášky: <b>2010 - 23661</b></p> <p>(22) Přihlášeno: <b>20.12.2010</b></p> <p>(47) Zapsáno: <b>16.05.2011</b></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>(73) Majitel: VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava - Poruba, CZ</p> <p>(72) Původce: Agel Petr Ing., Orlová - Lutyně, CZ Labudek Jiří Ing., Havířov, CZ</p> <p>(54) Název užitého vzoru: <b>Víceúčelový dřevěný nosný prvek pro stavby zateplené foukanou izolací</b></p> </div>
	<p>(11) Číslo dokumentu: <b>22209</b></p> <p>(13) Druh dokumentu: <b>U1</b></p> <p>(51) Int. Cl.: <b>E04B 2/56</b> (2006.01) <b>E04B 2/80</b> (2006.01)</p>

Obr. 52 - Užitný vzor č. 22209 „Víceúčelový dřevěný nosný prvek pro stavby zateplené foukanou izolací“.

V současné době existuje celá řada tzv. výplňových izolací (viz 7.3.2). Tyto izolace jsou na trh dodávány v sypaném stavu. Společným znakem těchto izolací je jejich aplikace, kdy tepelně izolační materiál je plněn do předem připravených stavebních komor. Výplňové izolace mají různé materiálové složení např. foukaná celulóza, foukaný minerál, foukaný polystyren, PUR materiál, atd. Aplikace zmíněných materiálů lze provádět tzv. zafoukáním. Obdobnou aplikací je tzv. vypěňování pomocí materiálů na bázi PUR. Disertační práce se přednostně zabývá přírodními rozvlákněnými materiály, i přesto, že do vyvinutého systému je jistě možné aplikovat i materiály na chemické bázi.

	<p>Standardní instalace dřevěného prvku do obvodového pláště mezi opláštěující desky. Prvek tvoří komory pro instalaci výplňové tepelné izolace. Prvek nese celý obvodový plášť, je nosným stěnovým prvkem budovy. Variantní úpravou lze získat také obvodový plášť s odvětrávanou fasádou.</p>
	<p>Instalace dřevěného prvku do obvodového pláště, kde nosnou vrstvu tvoří vrstvený dřevěný plošný panel (NOVATOP). Prvek tvoří komory pro instalaci výplňové tepelné izolace. Prvek nese exteriérový plášť, není nosným prvkem budovy</p>
	<p>Instalace dřevěného prvku při rekonstrukci stávající budovy. Nosnou vrstvu tvoří stávající plášť budovy (zděný, betonový). Prvek tvoří komory pro instalaci výplňové tepelné izolace. Prvek nese exteriérový plášť, není nosným prvkem budovy</p>

Obr. 53 - Možnosti využití dřevěného prvku pro foukané tepelné izolace

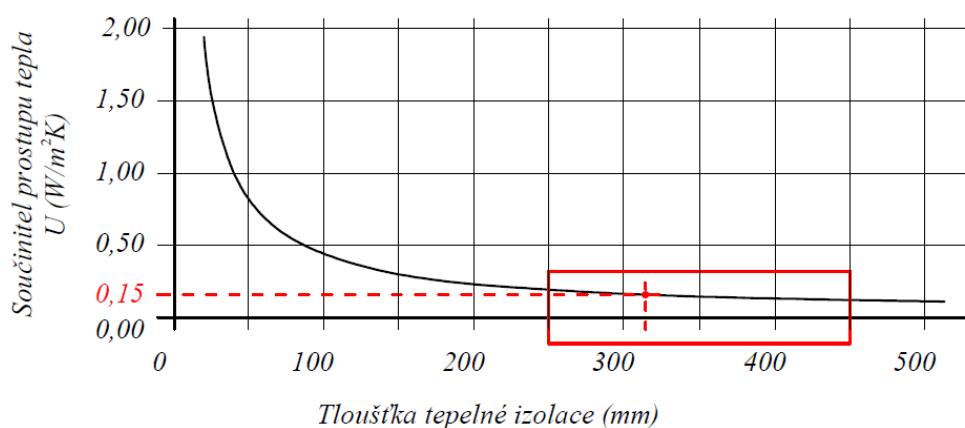
## 9.2 Tepelně technické posouzení variant obvodového pláště

Významným přínosem vyvinutého optimalizovaného nosného stěnového systému je variabilní tloušťka izolace. U skládaných nosníků odpadá problém dalších přídatných izolací, jelikož prostor pro tepelnou izolaci je možno vyrobit v různých tloušťkách, což činí skládaný nosník perspektivní pro stále se zpříšňující tepelné izolační požadavky obvodových plášťů staveb. Pravděpodobný vývoj standardu konstrukcí v oblasti konstrukčního a materiálového řešení obálky budovy pro pasivní domy novostaveb a rekonstrukcí s výhledem do roku 2050 uvádí Tab. 18.

Tab. 18 - Vývoj standardu konstrukcí a klíčových parametrů pro novostavby a rekonstrukce, které jsou v jednotlivých letech s velkou pravděpodobností realizovatelné [23]

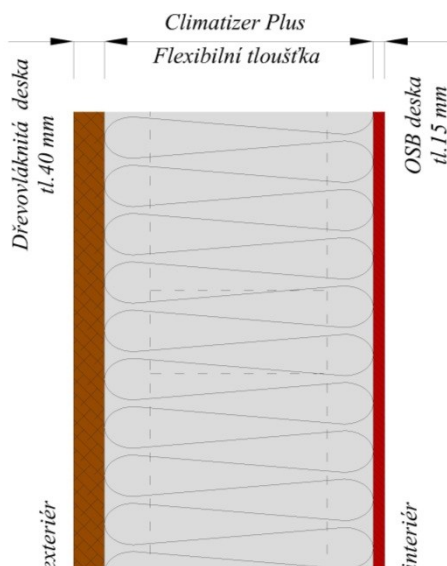
Obvodový plášť $U$ [W/m <sup>2</sup> .K]	Novostavby				Rekonstrukce			
	2010	2020	2030	2050	2010	2020	2030	2050
	0,12	0,1	0,08	0,06	0,15	0,12	0,1	0,08

V odborných kruzích je často diskutovaným tématem ideální tloušťka tepelné izolace. U běžných a dodatečně zateplováných budov se optimální tloušťka izolace volí na základě návratnosti vložených finančních prostředků, u budov s nízkou energetickou náročností je prvotním hlediskem co nejvyšší energetická úspora. V současnosti je maximální tloušťka instalované tepelné izolace omezena limitními fyzikálními vlastnostmi izolačního materiálu.



Obr. 54 - Závislost součinitele prostupu tepla na tloušťce tepelné izolace. (Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,05$  W/m.K).

Ze závislosti (Obr. 54) velikosti součinitele prostupu tepla na tloušťce tepelné izolace je patrné, že při větších tloušťkách se hodnota součinitele prostupu tepla už příliš nemění. Z čehož vyplývá, že maximální rozumná tloušťka tepelné izolace je cca do 500 mm. Jelikož předmětem disertační práce jsou obvodové pláště pro budovy v pasivním či nízkoenergetickém standardu, u kterých se jeví jako ideální tloušťka tepelné izolace v tl. 250 až 450 mm (viz. červená oblast - Obr. 6). V Obr. 6 je vyznačena hodnota  $U = 0,15$  W/(m<sup>2</sup>.K), která je všeobecně doporučována pro konstrukce obvodových plášťů budov v pasivním standardu. Pro detailnější analýzu obvodového pláště z pohledu stavební tepelné techniky, byla provedena série výpočtů, pro obvodové pláště tloušťky 205 až 755 mm s tepelnou izolací v tloušťkách 150 až 700 mm. Zbývající šířku tvoří dřevovláknitá deska UdiSPEED tl. 40 mm z exteriérové strany a OSB deska tl. 15 mm. Tato skladba byla zvolena jako základní pro celkové zhodnocení optimalizovaného dřevěného prolamovaného prvku v obvodovém plášti dřevostaveb s výplňovými izolacemi Obr. 55.



Obr. 55 - Základní posuzovaná skladba obvodového pláště.

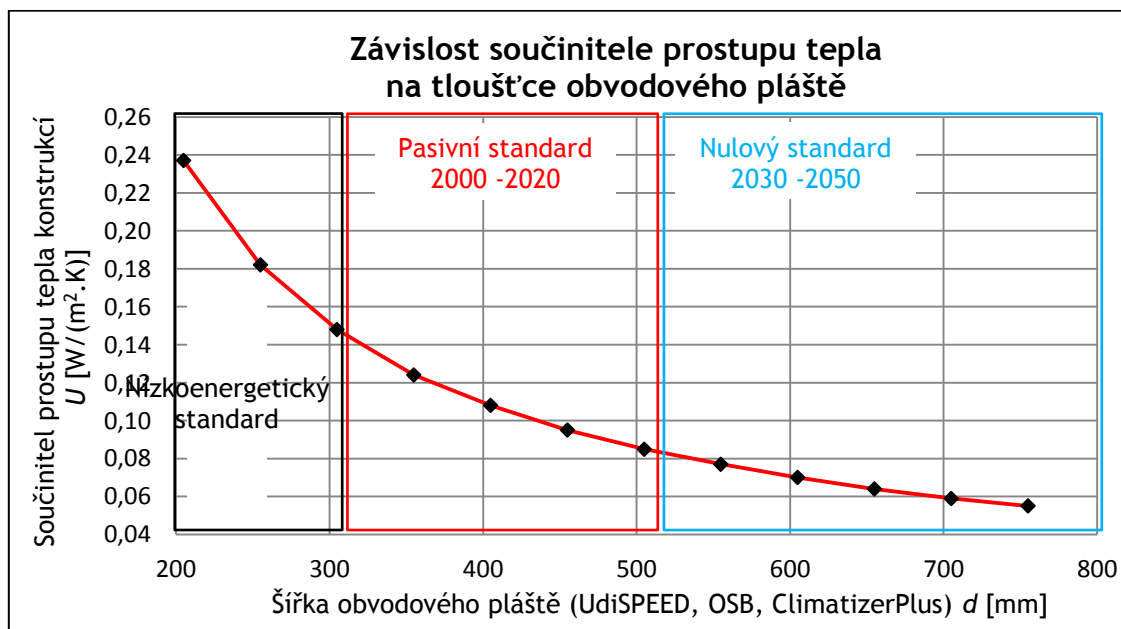
V Tab. 19 jsou doloženy výsledky součinitele prostupu tepla  $U$  získaných početními postupy v softwaru TEPLLO [45] a AREA [46]. Výpočet pro jednorozměrné šíření tepla byl vypočítán pomocí ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti a 2D výpočet byl proveden pomocí teplotního pole. Dle dosažených výsledků lze vysledovat drobné rozdíly mezi početními metodami. Obvodové pláště s uvedenou skladbou (Obr. 55) v tloušťkách 205 až 755 mm dosahují součinitele prostupu tepla  $U = 0,26$  až  $0,06 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ . Již při celkové šířce konstrukce 305 mm lze prohlásit obvodový plášť za vhodný pro stavby v pasivním standardu. Velice efektivní z pohledu současné doby se jeví konstrukce v šířce 305 až 505 mm. S výhledem do let 2030 až 2050 se předpokládá větší prosazování těchto obvodových plášťů s šířkou 555 až 755 mm s cílem dosáhnout ve výstavbě tzv. „nulového standardu“ při výstavbě, kde nemalou roli budou hrát právě obvodové pláště staveb. Z Obr. 56 vyplývá, že technologie, která je předmětem disertační práce je perspektivní i do budoucna. Je nutno ovšem zmínit, že výpočty se opírají o materiálovou základnu naší doby.

Pro základní srovnání současných sloupkových stavebních technologií je uvedena Tab. 20, kde je možno vysledovat lehce horší výsledky součinitele prostupu tepla z důvodu vedení tepla v masivním sloupku obvodového pláště. Pro porovnání teplotních polí charakteristického výseku obvodového pláště jsou uvedeny Obr. 57 Obr. 58. V současné době není možno již vyrábět sloupky šířky potřebné tloušťky izolantů pro obvodové pláště budov v pasivním standardu. Sloupkové systémy již v budoucnosti nebudou perspektivní pro nulový standard výstavby, a proto je nutné zavádět technologie, které umožní flexibilní tloušťky izolace v obvodovém plášti.

Tab. 19 - Součinitel prostupu tepla v závislosti na šířce prolamovaného optimalizovaného prvku obvodového pláště

Varianta	Celková šířka konstrukce ( $b = 0,6 \text{ m}$ )	Tloušťka vrstvy tepelné izolace $d$ [mm]	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m.K)]	Lineární tepelná propustnost $L^{2D}$ [W/(m.K)]	Součinitel prostupu tepla konstrukcí $U$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Součinitel prostupu tepla konstrukcí $U$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]	
							2D	1D
1	205	150	60	0,038	0,14236	0,237	0,24	0,26
2	255	200	60	0,038	0,10897	0,182	0,18	0,20
3	305	250	60	0,038	0,08856	0,148	0,15	0,16
4	355	300	60	0,038	0,07465	0,124	0,12	0,13
5	405	350	60	0,038	0,06455	0,108	0,11	
6	455	400	60	0,038	0,05686	0,095	0,10	
7	505	450	60	0,038	0,05081	0,085	0,09	
8	555	500	60	0,038	0,04593	0,077	0,08	
9	605	550	60	0,038	0,04190	0,070	0,07	
10	655	600	60	0,038	0,03853	0,064	0,07	
11	705	650	60	0,038	0,03566	0,059	0,06	
12	755	700	60	0,038	0,03319	0,055	0,06	

Poznámka: Zdroj dat viz kap. 14.4.



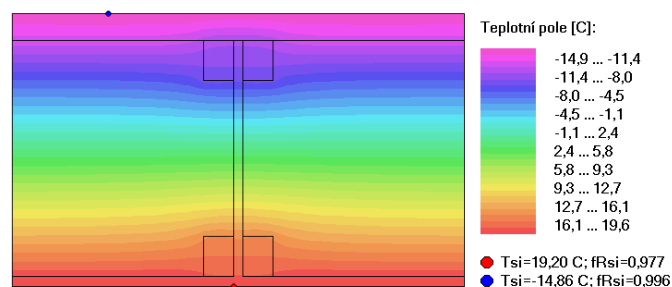
Obr. 56 - Graf závislosti součinitele prostupu tepla na tloušťce obvodového pláště.

Tab. 20 - Součinitel prostupu tepla v závislosti na šířce nosného dřevěného hranolu

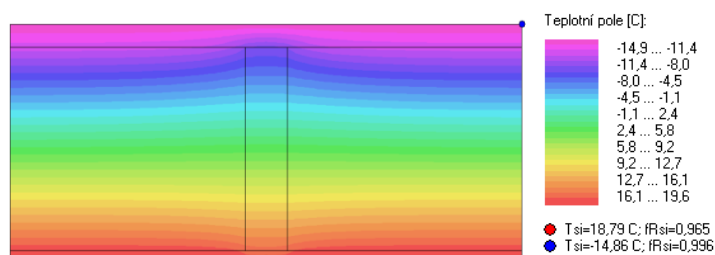
Varianta	Celková šířka konstrukce ( $b = 0,6 \text{ m}$ )	Tloušťka vrstvy tepelné izolace $d$ [mm]	Objemová hmotnost [kg/m]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m.K)]	Lineární tepelná propustnost $L^{2D}$ [W/(m.K)]	Součinitel prostupu tepla konstrukcí $U$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Součinitel prostupu tepla konstrukcí $U_{nor}$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]
1	205	150	60	0,038	0,14011	0,234	0,23
2	255	200	60	0,038	0,10897	0,182	0,18
3	305	250	60	0,038	0,09518	0,158	0,16
4	355	300*	60	0,038	0,08208	0,137	0,14
5	405	350*	60	0,038	0,07212	0,120	0,11
6	455	400*	60	0,038	0,06197	0,103	0,10
7	505	450*	60	0,038	0,05810	0,097	0,10
8	555	500*	60	0,038	0,05295	0,088	0,09

\*Poznámka:

Sloupkové prvky těchto dimenzí v praxi nelze vyrobit z jednoho kusu dřeva, slouží pouze pro porovnání tepelně izolačních vlastností sloupkových prvků a prolamovaných nosníků



Obr. 57 - Teplotní 2D pole pro charakteristický výsek základní skladby obvodového pláště s prolamovaným prvkem.



Obr. 58 - Teplotní 2D pole pro charakteristický výsek základní skladby obvodového pláště s dřevěným sloupkem.

S uvedeným posouzením součinitele prostupu tepla  $U$  dle [3] úzce souvisí další normativní parametry: teplotní faktor vnitřního povrchu a posouzení šíření vlhkosti konstrukcí.

Posouzení šíření vlhkosti pro posuzované šířky obvodového pláště (dle Tab. 19) je provedeno v kapitole 8., která se intenzivně zabývá problematikou vodních par prostupující skrz obvodové pláště. Konkrétní výsledky jsou zobrazeny v Tab. 9, Tab. 10 a Tab. 11.

Teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  pro posuzované šířky obvodového pláště (dle Tab. 19) je uveden samostatně v Tab. 21.

Tab. 21 - Posouzené hodnoty teplotního faktoru vnitřního povrchu

Varianta	Celková šířka konstrukce ( $b = 0,6 \text{ m}$ )	Tloušťka vrstvy tepelné izolace $d[\text{mm}]$	Teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi} [-]$	Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr} [-]$	Vyhodnocení
			Vypočtená hodnota	Požadovaná hodnoty	$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,cr}$
1	205	150	0,936	0,745	Vyhovuje
2	255	200	0,952		
3	305	250	0,961		
4	355	300	0,967		
5	405	350	0,972		
6	455	400	0,975		
7	505	450	0,978		
8	555	500	0,980		
9	605	550	0,982		
10	655	600	0,984		
11	705	650	0,985		
12	755	700	0,986		

Poznámka: Zdroj dat viz 14.2.

Z Tab. 22 jsou shrnuty výsledky pro různé skladby obvodového pláště na bázi dřeva, kde nosný prvek tvoří optimalizovaný dřevěný prolamovaný prvek. V souladu s teorií všechny skladby, kde je z interiérové strany opláštěující deska s vysokým faktorem difuzního odporu všem požadavkům vyhovují. Výjimku tvoří skladba č. 1, kde záměrně byla na interiérovou stranu obvodového pláště instalována VELOX deska a nízkým faktorem difuzního odporu ( $\mu = 13$ ), která nevyhovuje na požadavky šíření vlhkosti konstrukcí.

V Tab. 22 je možno vysledovat, že veškeré skladby dosahují při stejné tloušťce izolace Climatizer Plus velmi podobné hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí  $U$  i teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$ . Z vyhodnocení součinitele prostupu tepla, lze uvést závěr, že při použití dřevovláknité exteriérové desky dosáhneme lepších tepelně technických výsledků, což vyplývá z tepelně technických parametrů daného materiálu.

Z doložených výsledků lze stanovit závěr, že na optimalizovaný nosný dřevěný prolamovaný prvek, lze jako opláštění osadit téměř jakékoliv deskové materiály na bázi dřeva. Je však nutné deskové materiály osadit správně dle jejich tepelně technických parametrů.

Tab. 22 - Posouzené další skladby obvodových plášťů

Skladba konstrukce (od interiéru)	Součinitel prostupu tepla konstrukcí $U$ [W/(m <sup>2</sup> .K)]	Teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi}$ [-]	Šíření vlhkosti konstrukcí (dle ČSN 73 0540 a ČSN EN ISO 13788)	
Skladba VELOX + Climatizer Plus + VELOX	0,120	0,970	POŽADAVKY NEJSOU SPLNĚNY.	Nevyhovuje
Fermacell VAPOR + Climatizer Plus + dřevovláknitá deska UdiSPEED	0,114	0,972	POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.	Vyhovuje
Fermacell VAPOR + Climatizer Plus + VELOX	0,122	0,970	POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.	
OSB 200 ( $\mu=200$ ) + Climatizer Plus + VELOX	0,121	0,970	POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.	
Flexibuild + Climatizer Plus + VELOX UdiSPEED	0,122	0,970	POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.	
Flexibuild + Climatizer Plus + dřevovláknitá deska UdiSPEED	0,114	0,972	POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.	



Tab. 19 a Tab. 20 vycházejí z početních postupů, které nepostihují různorodost konstrukce po výšce optimalizovaného prvku. Při výpočtu pomocí ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti a přesného modelování 2D do výpočtu konstrukce vstupuje způsobem, který předpokládá plnou stojinu I nosníku po celé jeho výšce. Při modelování 2D detail omezuje na místo OSB spojky (Obr. 57), což výsledek součinitele prostupu tepla zhoršuje (Tab. 23). Přírůstek součinitele prostupu tepla obvodového pláště vlivem dřevěného I nosníku s plnou stojinou při modelování 2D je +10,8 %, při modelování 3D se jedná o 11,3 % tzn. výsledky 2D a 3D jsou téměř srovnatelné.

Tab. 23 - Porovnání početních přístupů obvodového pláště - 2D výpočet

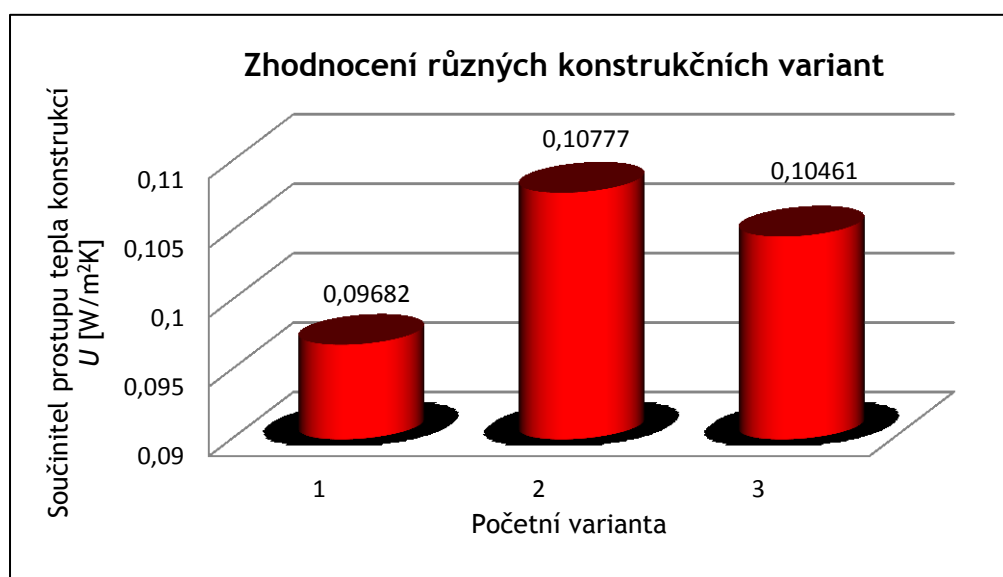
Konstrukční varianta	Tepelná propustnost $L^{2D}$ [W/m.K]	Součinitel prostupu tepla konstrukcí $U$ [W/m <sup>2</sup> K]	Přírůstek tepelného mostu [%]
Obvodový plášť v ideálním výseku bez tepelného mostu	0,05827	0,09710	-
Optimalizovaný prolamovaný dřevěný prvek v místě spojky	0,06454	0,1076	+10,8
Optimalizovaný prolamovaný dřevěný prvek mimo spojku	0,06198	0,1033	+6,4

Nejpřesnější početní metodou, kterou lze použít pro vyhodnocení prolamovaného prvku pro celou jeho konstrukční složitost je modelování 3D. Z tohoto důvodu byl modelován segment obvodového pláště 0,6 x 1,5 x 0,405 m. Byla tedy modelována polovina (Obr. 62) finální výšky (3 m) připravovaných panelů pro obvodové pláště dřevostaveb. Konstrukci modelovanou s opláštěním OSB deskami dokládá Obr. 82. Pro zjištění tepelně izolačního přínosu optimalizovaného dřevěného prvku pro foukané izolace byl dále modelován výsek obvodového pláště se zanedbáním vlivu sloupků a segment s I prvkem s plnou stojinou.

Z výsledků získaných z CUBE 3D [47] a uvedených v Tab. 24 je možno sledovat, že nosník s vylehčenou stojinou, která je nahrazena difuzní fólií, zajišťuje proti nosníku s plnou stojinou součinitel prostupu tepla o 3 % nižší. Z pohledu praxe se toto jeví jako zanedbatelná hodnota, ale přínos optimalizovaného prvku tkví v jeho flexibilitě instalace tepelné izolace a nové technologii aplikace (viz níže). Přesné započítání členitého prvku do obvodového pláště zhorší v ideálním místě bez tepelného mostu obalové konstrukce o 8 % a nosník s plnou stojinou o 11,3 %.

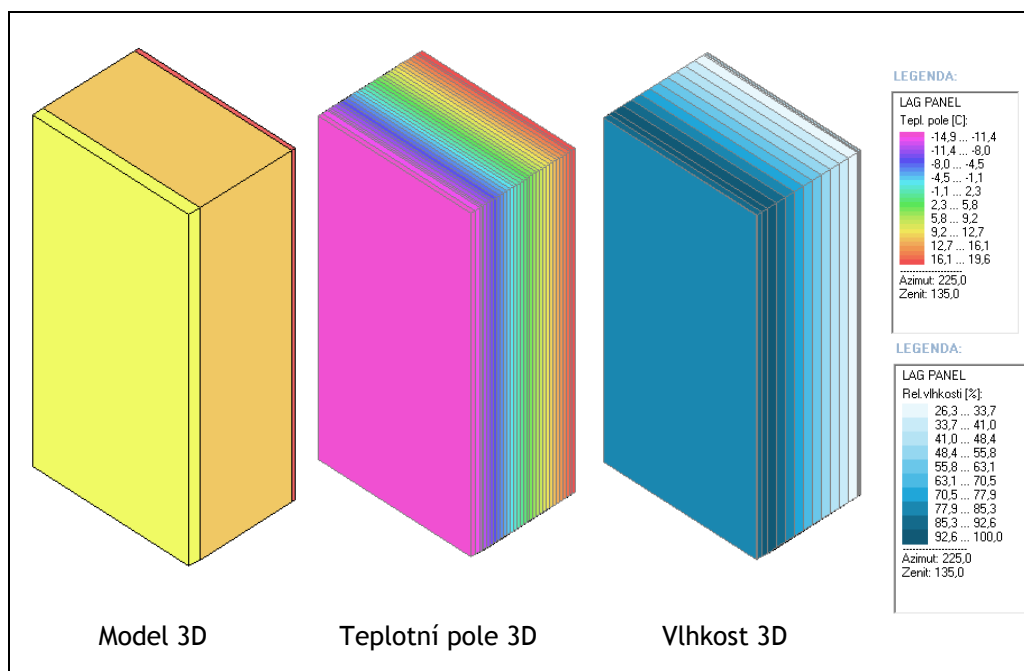
Tab. 24 - Porovnání početních přístupů obvodového pláště - 3D výpočet

Početní varianta	Konstrukční varianta	Kondenzace vodních par	Faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi}$ [-]	Tepelná propustnost	Plocha výseku $A$ [m <sup>2</sup> ]	Součinitel prostupu tepla konstrukcí $U$ [W/m <sup>2</sup> K]	Přírůstek tepelného mostu [%]
1	Obvodový plášť v ideálním výseku bez tepelného mostu (viz Obr. 60)	Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.	0,976	0,08741	0,9	0,09682	-
2	I nosník s plnou stojinou (viz Obr. 61, Obr. 62, Obr. 62)		0,959	0,09700		0,10777	+11,3
3	Optimalizovaný prolamovaný dřevěný prvek (viz Obr. 64, Obr. 65, Obr. 66)		0,961	0,09415		0,10461	+8,0

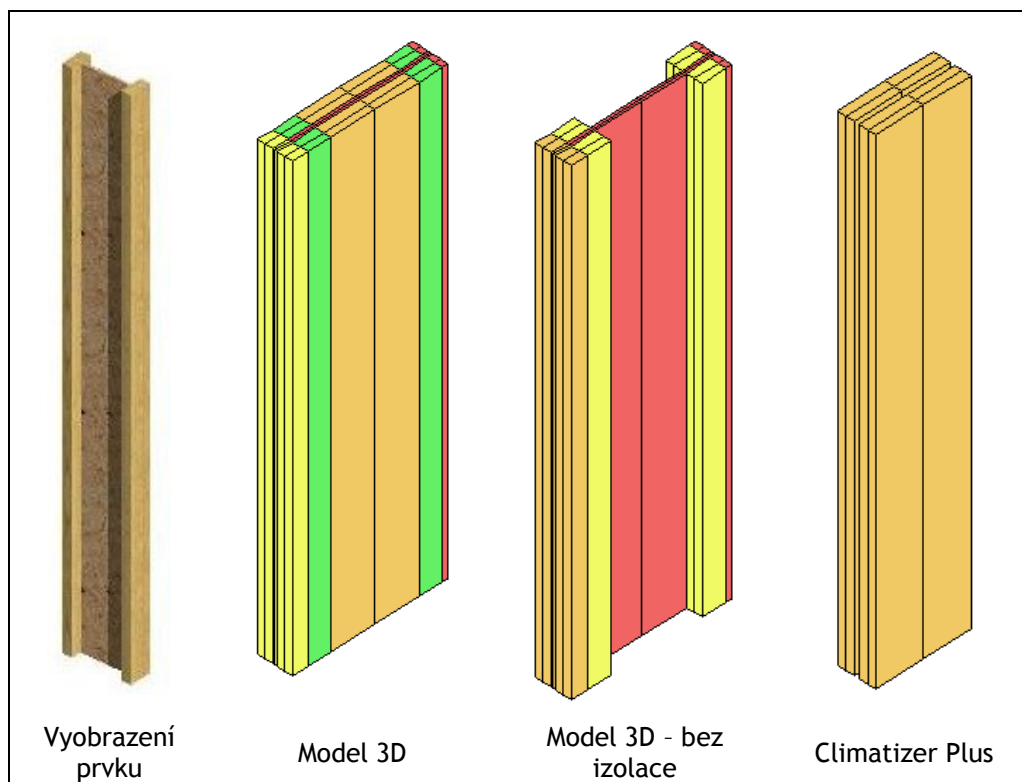


Obr. 59 - Zhodnocení různých konstrukčních variant.

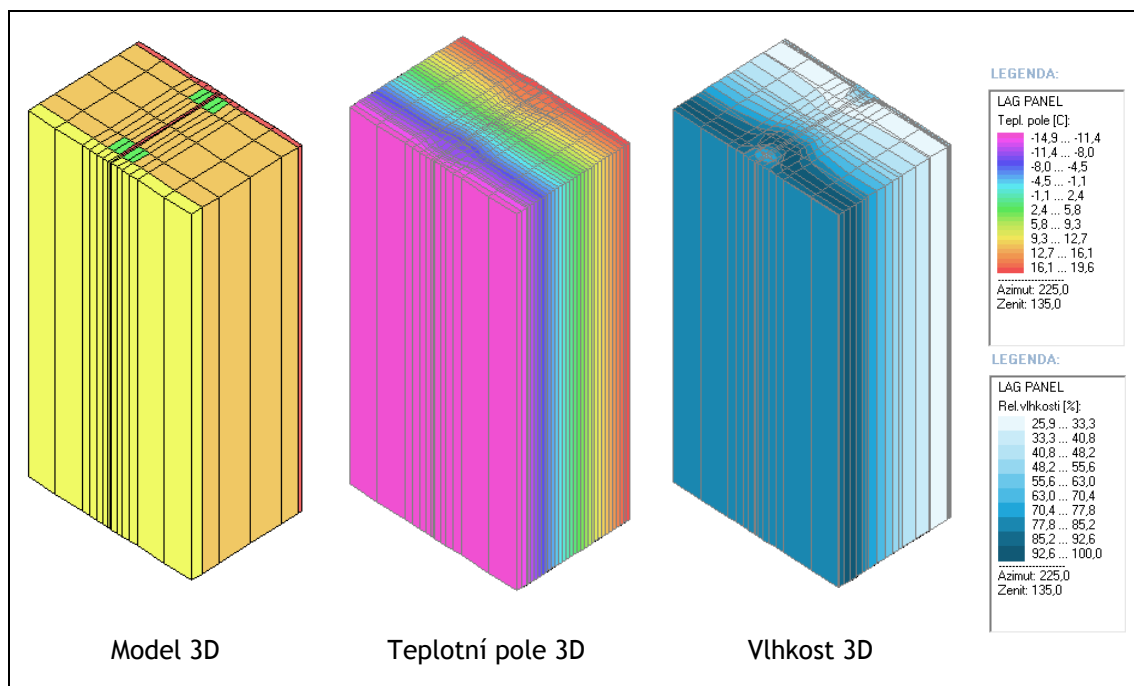
Grafické výstupy pro různé posuzované varianty jsou uvedeny na Obr. 60 až Obr. 66. Z obrázků je možno vysledovat zvolené konstrukční řešení a vyobrazení průběhu teplotního pole či vlhkosti.



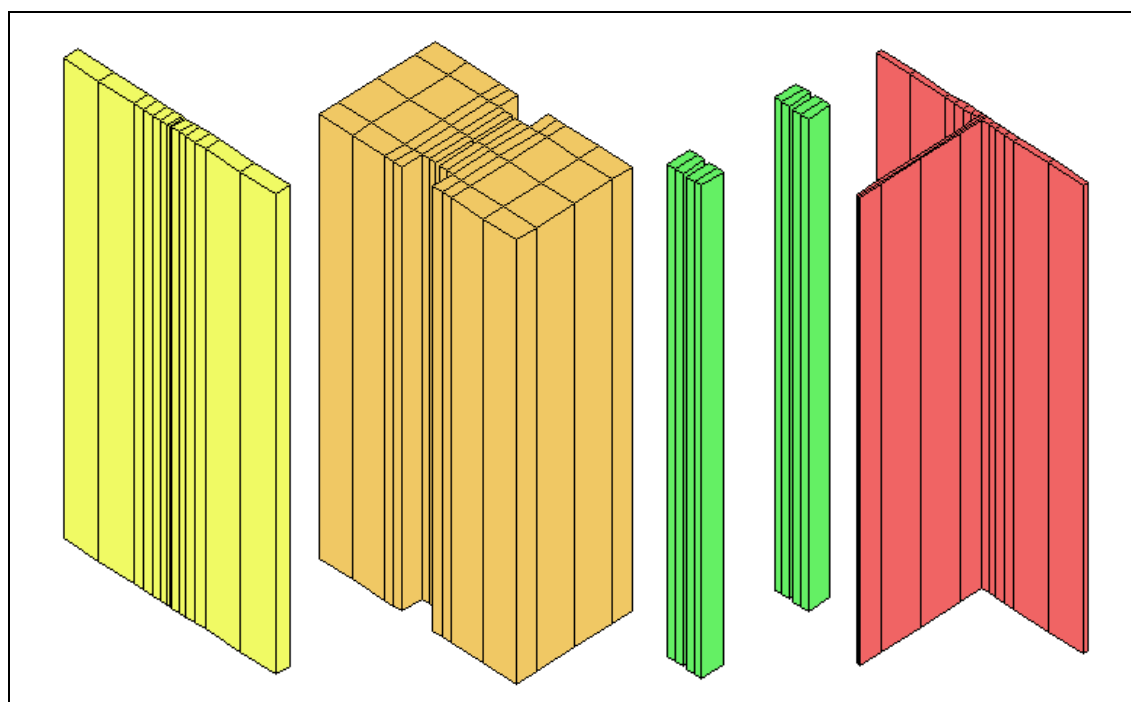
Obr. 60 - Grafické zobrazení pro segment obvodového pláště bez tepelného mostu: Model, Teplotní pole 3D, Vlhkost 3D.



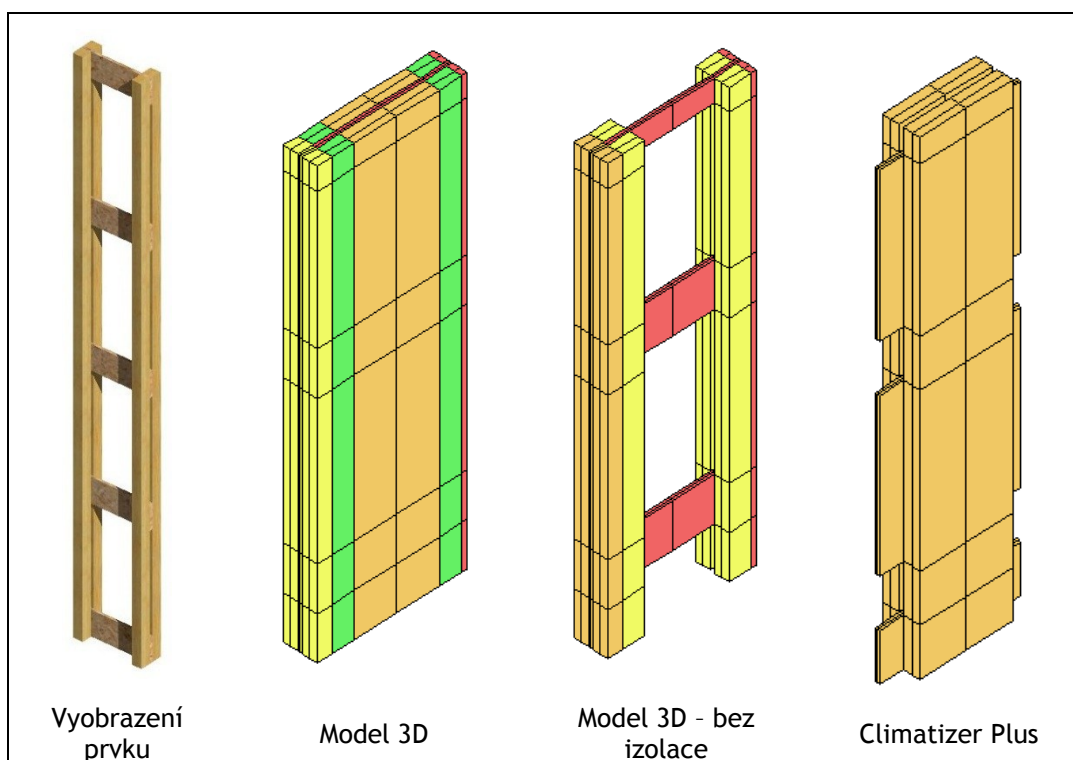
Obr. 61 - Grafické zobrazení I nosníku s plnou stojinou, model 3D.



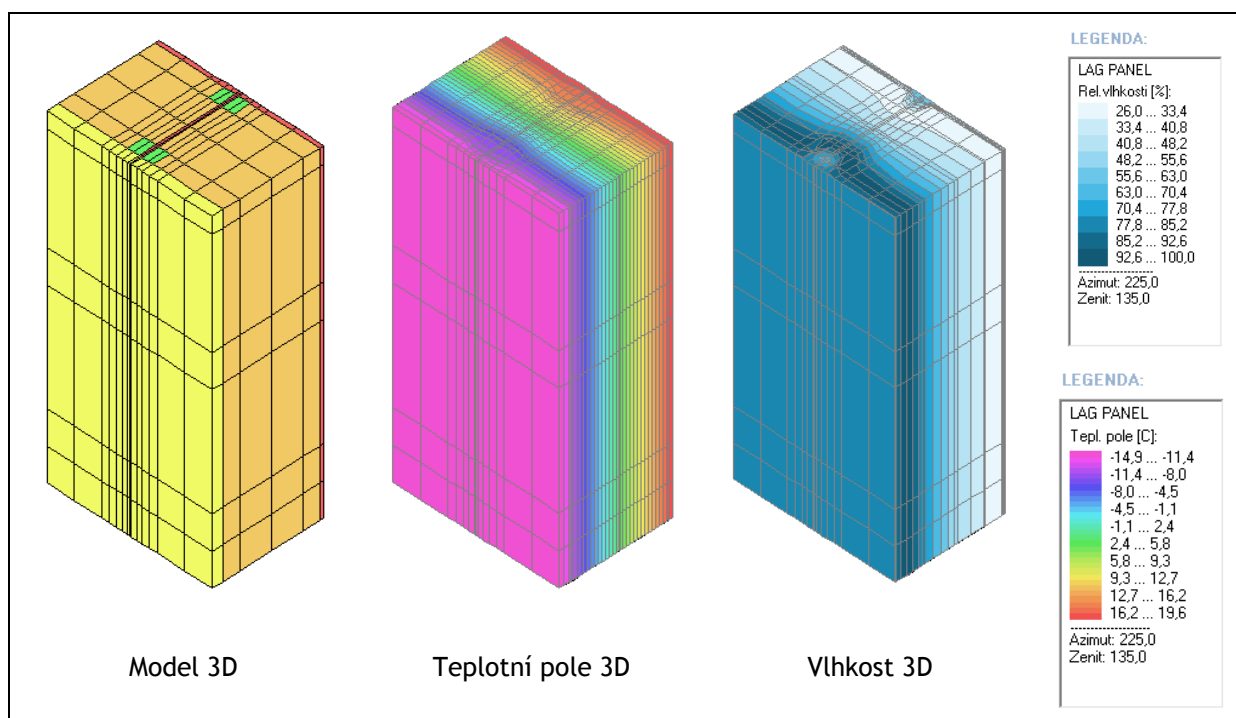
Obr. 62 - Grafické zobrazení I nosníku s plnou stojinou:  
Model, Teplotní pole 3D, Vlhkost 3D.



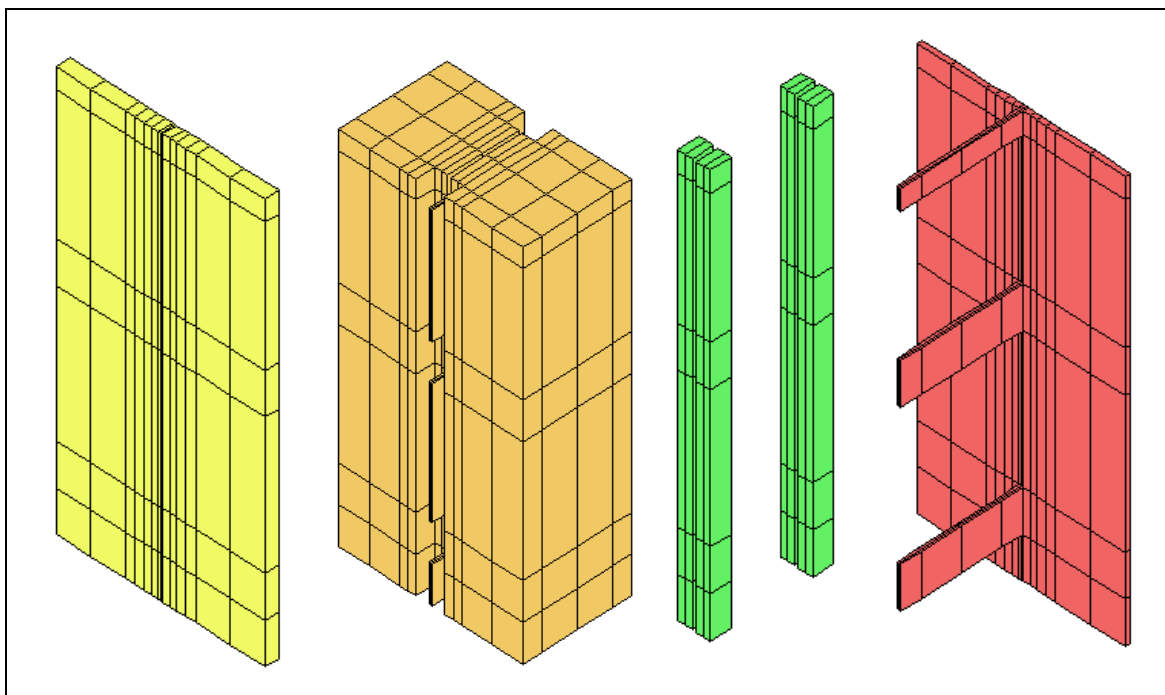
Obr. 63 - Materiálové složení segmentu obvodového pláště - I nosník s plnou stojinou. (žlutá: dřevovláknitá deska, oranžová: Climatizer Plus, zelená: rostlé dřevo, červená: OSB deska).



Obr. 64 - Grafické zobrazení prolamovaného nosníku, model 3D.



Obr. 65 - Grafické zobrazení pro prolamovaný I nosník:  
Model, Teplotní pole 3D, Vlhkost 3D.



Obr. 66 - Materiálové složení segmentu obvodového pláště - prolamovaný  
I nosník: (žlutá: dřevovláknitá deska, oranžová: Climatizer Plus, zelená: rostlé  
dřevo, červená: OSB deska).

Dle uvedeného popisu materiálů vláknitých výplňových izolací (kap. 7.3.2) a jejich tepelně technických parametrů, lze pro různé základní materiály či jejich směsi předpokládat obdobné tepelně technické výsledky při jejich aplikaci do obvodových plášťů dřevostaveb.

### 9.3 Základní porovnání únosnosti

Základní porovnání mechanických vlastností (únosnost) prvku prolamovaného dřevěného nosníku a plného dřevěného sloupku (fošny) je uvedeno v Tab. 25. Únosnost sloupku v prostém tlaku rovnoběžně s vlákny je stanovena dle vztahu:

$$N_{c,O,R,d} = A \cdot f_{c,0,d} \quad (40)$$

kde  $N_{c,O,R,d}$  je únosnost v prostém tlaku rovnoběžně s vlákny [kN];  
 $A$  plocha průřezu dřevěného prvku [m<sup>2</sup>];  
 $f_{c,0,d}$  návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa].

Únosnost nosných prvků byla stanovena pro namáhání v prostém tlaku, bez uvažování vzpěru. Sloupky jsou z obou stran oplášťeny deskovým materiálem, který je zajišťuje proti vybočení z roviny.

Tab. 25 - Porovnání únosnosti dřevěného sloupku a prolamovaného nosníku

Typ konstrukce	Tloušťka tepelného izolantu $d$ [mm]	Dimenze sloupku $d$ [mm]	Průřezová plocha $A$ [m <sup>2</sup> ]	Objem dřeva na jeden sloupek délky 3 metry $V$ [m <sup>3</sup> ]	Únosnost prvku $N_{c,0,R,d}$ [kN]
I nosník	150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700	4x40x40	0,0064	0,0192	96,77
		4x50x40	0,0080	0,0240	120,96
		4x60x40	0,0096	0,0288	145,15
		4x50x50	0,0100	0,0300	151,20
		4x60x50	0,0120	0,0360	181,44
		4x60x60	0,0144	0,0432	217,73
Dřevěný sloupek	150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500,	150x50	0,0075	0,0225	113,40
		200x50	0,0100	0,0300	151,20
		250x50	0,0125	0,0375	189,00
		300x50*	0,0150	0,0450	226,80
		350x50*	0,0175	0,0525	264,60
		400x50*	0,0200	0,0600	302,40
		450x50*	0,0225	0,0675	340,20
		500x50*	0,0250	0,0750	378,00

\* Poznámka:

Prvky těchto dimenzí v praxi nelze vyrobit z jednoho kusu dřeva, slouží pouze pro porovnání únosnosti s flexibilně rozšiřitelným prolamovaným nosníkem

Nosné dřevo je situováno dále od neutrální osy prvku, kde má větší opodstatnění. Objem dřeva je v konstrukci efektivněji využit, čímž dochází k úspoře řeziva. Z Tab. 25 vyplývá, že i při použití největších latí 60 x 60 mm (objem řeziva  $V = 0,0432 \text{ m}^3$ ), které dokáží zajistit libovolnou šířku tepelné izolace, jsme při použití plných sloupků podobné únosnosti (objem řeziva  $V = 0,0450 \text{ m}^3$ ) schopni zajistit tloušťku izolace pouze 300 mm. Již při porovnání nejmenšího sloupku 150 x 50 mm ( $V = 0,0192 \text{ m}^3$ ) a latí 4 x 40 x 40 mm ( $V = 0,0192 \text{ m}^3$ ) je rozdíl v objemu použitého řeziva. Prvek pro libovolnou šířku instalované tepelné izolace závisí na délce OSB spojky v nosníku. Se zvětšováním šířky obvodového pláště tento rozdíl mezi oběma konstrukčními možnostmi dále narůstá. Základní nosný dřevěný materiál je v prolamovaném nosníku přesunut mimo neutrální osu, jelikož v neutrální ose prvku nemá téměř žádnou nosnou funkci.

Kap. 9 naplňuje cíle č. 2. a 3. této disertační práce (viz kap. 2).

## 10 OVĚŘENÍ NAVRŽENÉHO OPTIMALIZOVANÉHO PRVKU

Pro ověření aplikací foukaných izolací v oblasti optimalizovaného dřevěného prvku v obvodovém plášti byla provedena série praktických zkoušek. Na zkušebních segmentech byla zkoušena dokonalá aplikace homogenity foukaných izolací či sesedání izolačního materiálu v obvodovém plášti stavby. Kap. 10 naplňuje podstatu cíle č. 4. a 5. (viz kap. 2) této disertační práce.

### 10.1 Sesedání celulózové izolace

Je dobře známo, že vláknitý izolační materiál, který je injektován do stěn může sesedat. Sesedání je zmenšení tloušťky vytvořené izolace v dutinách a rámových konstrukcích vlivem času, vyjádřené v procentech původní vytvořené tloušťky nebo výšky (Tab. 26). Pokud je izolace aplikována do uzavřené dutiny a jsou dodrženy pokyny výrobce, týkající se předepsané objemové hmotnosti, materiál si ani po mnoha letech nesesedne. Řešením problému sesedání je aplikace celulózového izolačního materiálu s dostatečnou objemovou hmotností [24], [25].

Norma ČSN EN 14064-1 [4] uvádí, že izolace musí v uzavřené konstrukci tzn. dutině rámových konstrukcí splňovat požadavky na sesedání třídy S1, viz Tab. 26.

Tab. 26 - Třídy sesednutí dle [5]

Třída	Požadavek
S1	Sesednutí není měřitelné ( $\leq 1\%$ )
S2	$> 1\% \text{ a } \leq 5\%$
S3	$> 5\% \text{ a } \leq 10\%$

Jelikož stěnové rámové konstrukce nelze téměř opětovně naplnit (pouze obtížně či vůbec), lze akceptovat právě pouze sesedání materiálu, které není měřitelné ( $\leq 1\%$ ). Při foukání přírodních materiálů dochází u jednotlivých vláken k ozubení ve třech dimenzích a mikroskopickému mechanickému uchycení navzájem, čímž vzniká kompaktní prostorová struktura rozvlákněného materiálu, která zabraňuje sesedání materiálu. Cílem aplikace foukaných izolací je tedy vytvořit kompaktní výplňovou strukturu materiálu v celé dutině. Pro dlouhodobé zajištění izolačních schopností materiálu je nutné, aby izolace měla požadovanou objemovou hmotnost  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]. Tento stav se kontroluje objemem nafoukané komory a porovnáním spotřebované izolace.

V době zpracovávání této disertační práce neexistoval normativní dokument zabývající se sesedáním izolacemi na bázi celulózy, což je stěžejní přírodní

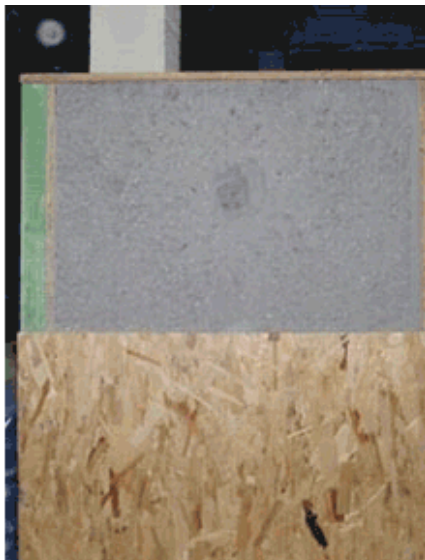


materiál pro téma této práce. Z tohoto důvodu výše zmíněné normativní parametry slouží pouze jako informativní hodnoty. V praxi jsou tyto požadavky uznávány pro téměř všechny výplňové izolanty. V současné době se intenzivně na FAST, VŠB - TU Ostrava pracuje na definování podmínek týkající se metod zkoušení sesedání celulózových izolací v rámových konstrukcích. Cílem tohoto vývoje bude univerzální zkouška (zkušební těleso 0,25 x 0,25 x 1 m) sesedání výplňových přírodních tepelných izolantů. Cílem je definování přesné zkušební metody těchto materiálů a porovnání různých výplňových materiálů z pohledu sesedání.

Možností jak splnit uvedený normativní požadavek je dodržení předepsané hodnoty objemové hmotnosti, čímž je omezeno sesedání na nutné minimum. Předepsané objemové hmotnosti závisí vždy na typu konstrukce a okolních klimatických podmínkách budovy. Do optimálně připravené konstrukce lze tepelnou izolaci nafoukat za zvýšené objemové hmotnosti. Objemová hmotnost při aplikaci celulózové izolace za sucha se pohybuje od cca 30 kg/m<sup>3</sup> u vodorovných konstrukcí a optimální objemová hmotnost zafoukané celulózy pohybuje cca okolo 70 kg/m<sup>3</sup> u svislých konstrukcí. Podmínkou u svislých konstrukcí je dosažení potřebné hustoty  $\rho = 60$  až 65 kg/m<sup>3</sup>, aby nedocházelo k sesedání. Do konstrukce obvodového pláště je tedy nutné aplikovat téměř dvakrát větší množství celulózy než do horizontální polohy konstrukce. Tímto postupem je docílena objemová stálost aplikované izolace po celou dobu životnosti celé konstrukce - nedochází k nežádoucímu sesednutí izolace. Při optimální objemové hmotnosti je odzkoušeno plnění prefabrikovaných dílců dřevostaveb a transport napříč Evropou bez sesednutí. V rámci interních testů byl připraven segment obvodového pláště o vnitřních rozměrech 0,8 x 2,4 x 0,2 m. Segment obvodového pláště z OSB desek byl naplněn Climatizerem Plus ( $\rho = 65$  kg/m<sup>3</sup>) a naložen na nákladní automobil, který ujel na silnicích 2000 km. Po odkrytí horní třetiny segmentu se prokázala stabilita vyplnění, jelikož nevznikla žádná dutina, která by mohla být tepelným mostem. Při vývoji optimalizovaného stěnového prvku pro obvodové pláště dřevostaveb byla provedena rázová zkouška segmentu obvodového pláště o rozměru 1,0 x 2 x 0,43 m (Obr. 68). Segment byl vyplněn celulózovou izolací na potřebnou objemovou hmotnost a byl několikrát spuštěn volným pádem cca z jednoho metru. Po sejmutí opláštujících desek bylo sesednutí celulózové izolace neměřitelné tzn. třída S1.

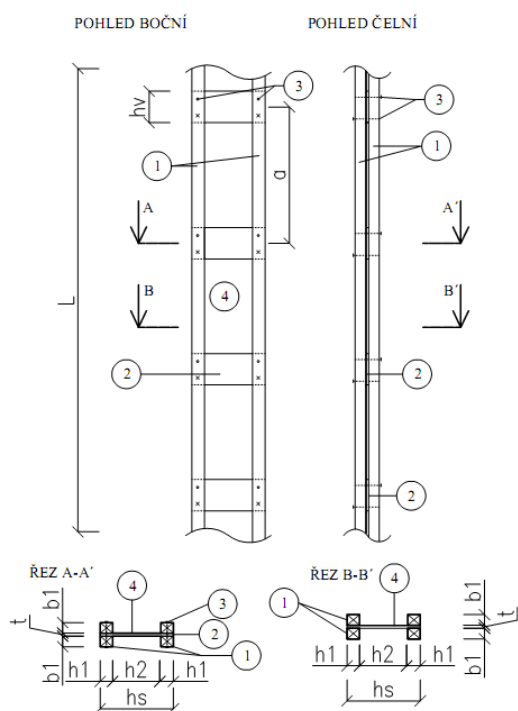
Cílem dalších experimentů bylo ověřit a prozkoumat aplikaci foukané tepelné izolace do vyvinutého dřevěného konstrukčního systému budovy. Základní testovací elementy (viz Obr. 70, Obr. 71, Obr. 72) byly vyplňovány celulózou z čela předvrtaným plnicím otvorem za použití speciální koncovky (Obr. 75) se zpětným odvodem přepravního vzduchu z čela obvodového pláště, tzn. klasickým způsobem. Součástí disertační práce jsou tedy testy obvodového pláště s tloušťkou tepelné izolace 400 mm. K vytvoření izolační vrstvy jsou celulózová vlákna pod vysokým

tlakem vháněna pomocí stroje do uzavřených částí konstrukcí určených k vyplnění, kde se dokonale přizpůsobí konstrukčním prvkům. Základní hypotézou bylo prokázání funkčnosti a aplikovatelnosti tepelných izolací kolem optimalizovaného dřevěného prvku obvodového pláště viz *Obr. 69*. Byly sestaveny tři základní segmenty typických potenciálně problematických míst obvodových plášťů dřevostaveb viz *Obr. 70*, *Obr. 71*, *Obr. 72*.



*Obr. 67 - Fotodokumentace zkoušky sesedání foukané izolace. [33]*

*Obr. 68 - Segment obvodového pláště pro rázovou zkoušku.*



Seznam symbolů a značek:	
1	Pásnice I nosníku - lat' dřevěná
2	Rámové vložky členěného prutu - OSB deska
3	Spoj vložky a pásnice - hřebíkový, vrutový či sponkový
4	Difuzní fólie
l	Výška profilu
hv	Výška OSB vložky
a	Osová vzdálenost vložek
hl	Výška průřezu latě
h2	Vzdálenost pásnic I profilu
bl	Šířka průřezu latě
t	Tloušťka vložky
hs	Mocnost stěny

*Obr. 69 - Schéma použitého optimalizovaného prvku pro ověřovací testy.*

## 10.2 Segment obvodového pláště

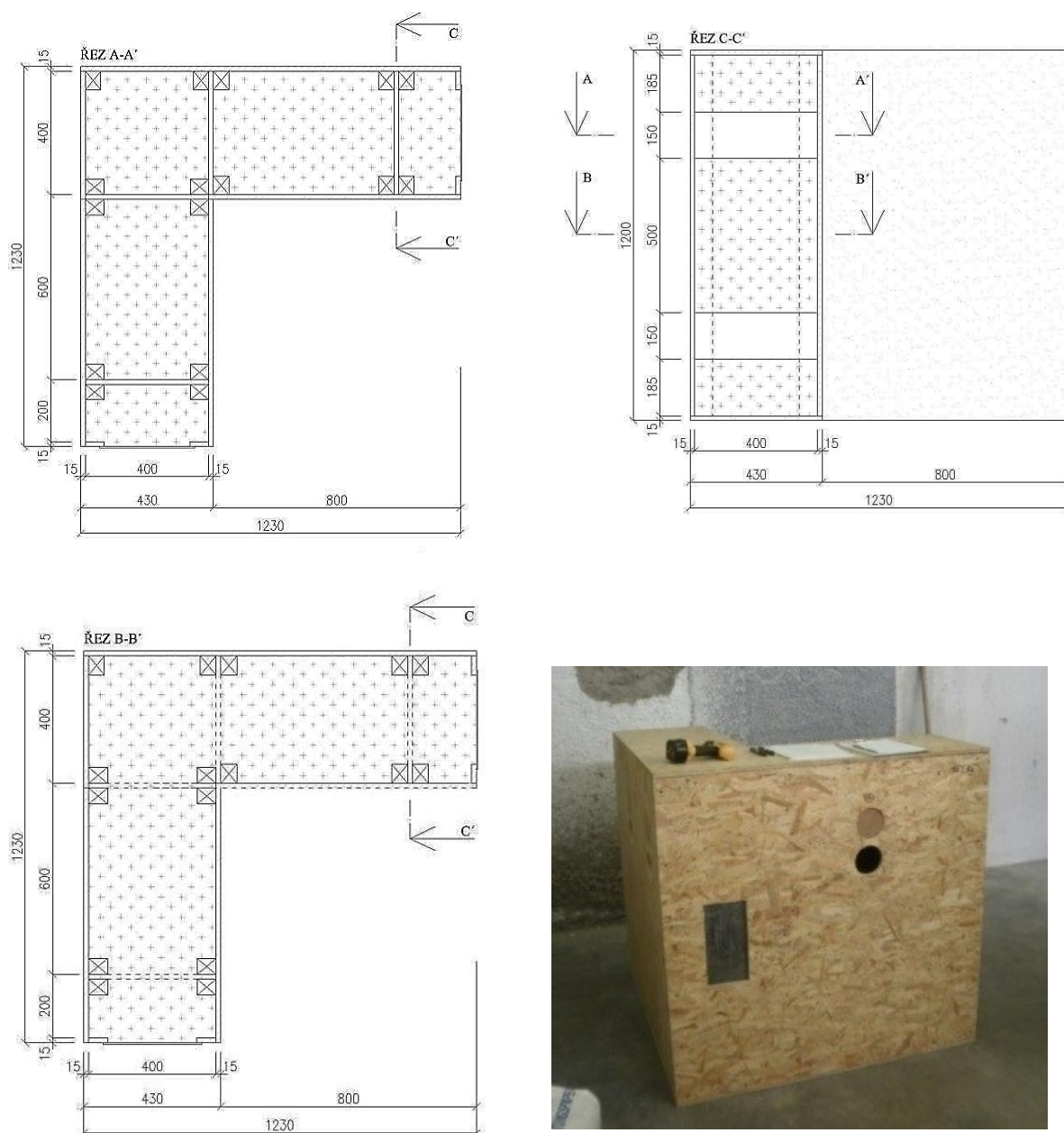
Sestavený segment byl testován v oblasti rohu obvodového pláště. Test spočíval v navrtání obvodových deskových materiálů z čela pro aplikaci izolace do prostoru stěny mezi nové dřevěné skládané nosníky. V tomto segmentu bylo testováno prvotní zafoukání členěných dřevěných prvků s náhradou dřevěné stojiny sklotextilní síťovinou (alt. difuzní fólií). Byla zde testována možnost udržení aplikačních tlaků celulózy a zajištění potřebné pevnosti mezi dutinami, pokud je jedna dutina izolací vyplněna a druhá nikoliv viz *Obr. 70*. Toto ověření sloužilo také, jako vstupní podklad pro vývoj nové aplikační technologie celulózy v ose stěny viz kap. 10.5. Testování bylo prováděno na segmentu o rozměru 1,0 x 2 x 0,43 m. Byl sestaven z OSB desek tl. 15 mm a základních nosných dřevěných nových prvků o šířce 400 mm (viz *Obr. 70*).

Stav před zafoukáním odpláštěného zkušební vzorku	Kompletně vyfoukaný odpláštěný zkušební vzorek	Stav po vyčištění středního pole - ověření pevnosti osazení perlinky
		

*Obr. 70 - Tři základní stavy při testování aplikace foukaných izolací v ploše stěny.*

### 10.3 Segment rohu obvodového pláště

Sestavený segment byl testován v oblasti rohu obvodového pláště. Při tomto testu byla použita poprvé aplikace v ose stěny, viz kap 10.5. Test spočíval v aplikaci ze středu stěny do prostoru rohu stěny. Toto specifické místo obvodového pláště se vyznačuje potenciálním problematickým zafoukáním, jelikož se v tomto místě nachází jiné osazení dřevěných členěných prvků než v ideálním výseku obvodového pláště. Pro experiment byl ve zkušebně sestaven zkušební vzorek 1,0 x 1,2 x 1,2 m. Je sestaven z OSB desek tl. 15 mm a základních nosných dřevěných nových prvků o šířce 400 mm (viz Obr. 71). Ve zkušebním segmentu byl umístěn průhledný prvek z plexiskla v místě osazení okna, aby bylo možno sledovat zafoukávání.

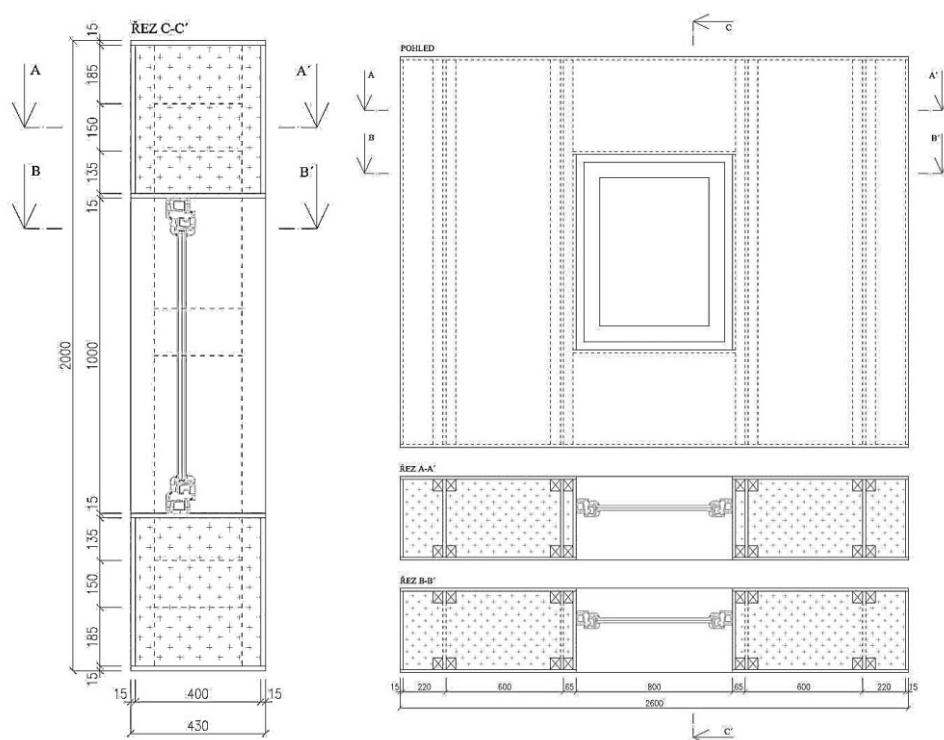


Obr. 71 - Testovací segment rohu obvodového pláště.



### 10.4 Segment obvodového pláště v oblasti osazení okna

Sestavený segment obvodového pláště byl testován v oblasti osazení okna. Test spočíval v navrtání obvodových deskových materiálů z čela pro aplikaci izolace do prostoru stěny, nadpraží, parapetu a ostění okenního otvoru. Toto specifické místo obvodového pláště se vyznačuje potenciálním problematickým zafoukáním, jelikož konstrukce omezuje vertikální foukání tepelné izolace v místě osazení okna. Pro experiment byl ve zkušebně sestaven zkušební kus (segment obvodové pláště dřevostavby). Zkušební kus má rozměr 2 x 2,6 x 0,43 m. Byl sestaven z OSB desek tl. 15 mm a základních nosných dřevěných nových prvků o šířce 400 mm (viz Obr. 72). Ve zkušebním segmentu byl umístěn průhledný prvek z plexiskla v místě osazení okna, aby bylo možno sledovat zafoukávání.



Obr. 72 - Testovací segment obvodového pláště v prostoru okenního otvoru.

## 10.5 Aplikace foukaných izolací

Celulózové izolace (Climatizer Plus) jsou vhodným řešením pro vyplnění připravených dutin obvodových plášťů pasivních staveb s masivní tloušťkou izolace. V současné době je při aplikaci výplňových tepelných izolací do standardních dřevěných konstrukčních soustav nedostatkem to, že po zaklopení nosné konstrukce ztužujícím opláštěním je nutné veškeré opláštějící desky provrtat (Obr. 73), což je časově náročné a ohrožuje to funkce celistvých deskových materiálů. Celulóza se do konstrukce standardně plní do připravených dutin v obvodovém plášti dřevostavby speciálním aplikačním zařízením skrz otvor ve vnější či vnitřní opláštějící vrstvě obvodové stěny (Obr. 73).



Exteriérová aplikace

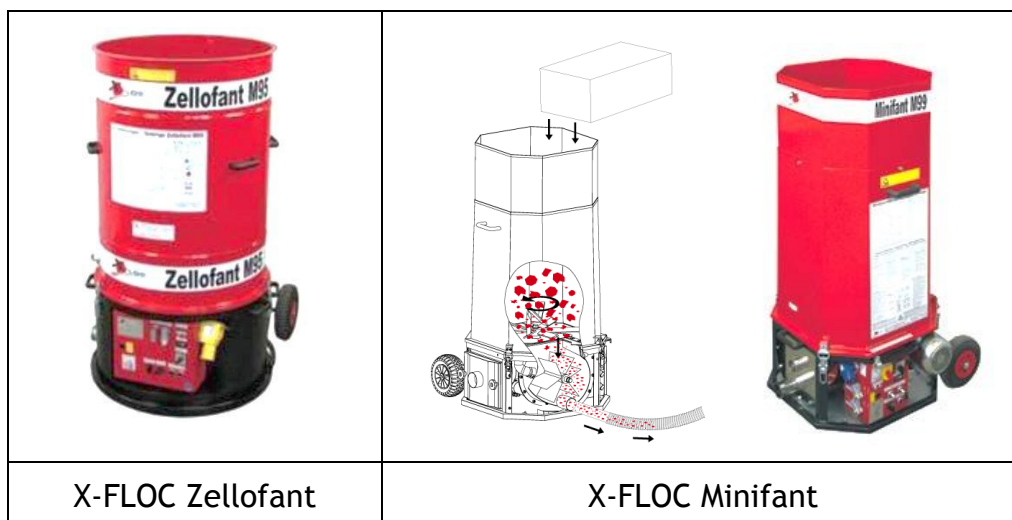


Interiérová aplikace

Obr. 73 - Standardní aplikace z exteriérové a interiérové strany obvodového pláště.

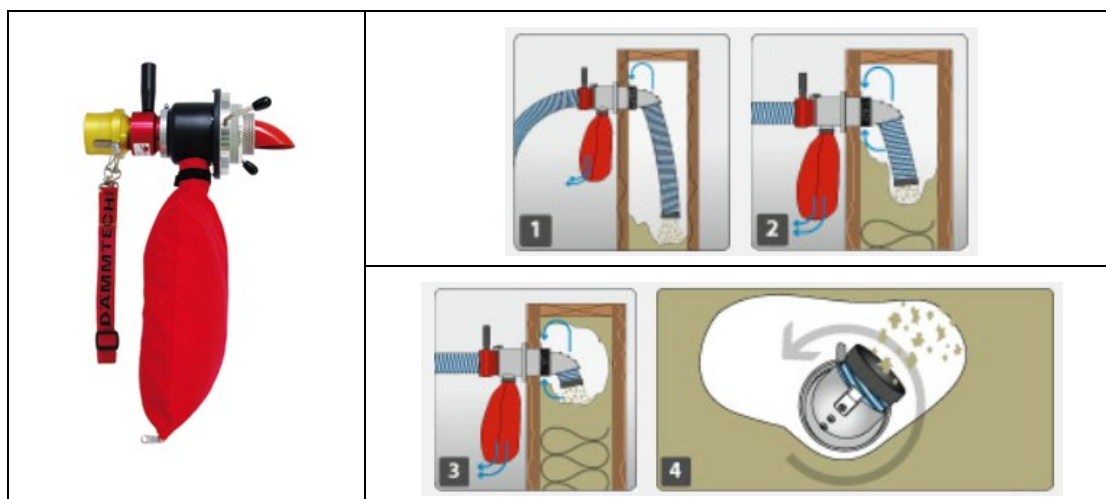
Pro zkušební aplikace při testování dokonalého zafoukání optimalizovaného dřevěného prvku pro obvodové pláště dřevostaveb byly použity stroje, které využívají aplikační firmy při realizacích staveb s foukanou izolací. Aplikace izolačního materiálu Climatizer Plus, se výhradně provádí strojním zařízením KRENDL či X-FLOC, které komprimovaný materiál z přepravních pytlů rozčechrává na předepsanou objemovou hmotnost. Nastavená velikost propadového otvoru je určující pro množství dopravovaného materiálu. Dále seřiditelná síla vzduchu je určující pro výstupovou rychlost materiálu na konci dopravních hadic. Jedná se o stroje, které dovedou regulovat množství stlačeného vzduchu i dopravovaného materiálu. Větší poměr vzduchu vůči materiálu zvyšuje objemovou hmotnost instalované izolace. Doprava materiálu se provádí pneumaticky, čímž se odstraní ruční manipulace s materiálem po staveništi. Materiál je možno dopravovat maximálně do výšky 30 metrů. Dopravní vzdálenost u standardní dodávky činí 50 metrů (lze prodloužit až na 80 metrů). Transport materiálu je zajišťován v PE

hadicích o průměru 50 až 75 mm. Zároveň je způsobem aplikace zajištěno uložení izolace bez chybných spojů s velmi dobrou přilnavostí v detailech. X-FLOC Minifant (Obr. 81) je strojem, který pracuje na principu čechrače se středem otáčení uprostřed zásobníku, který pojme do prostoru pročechrávané násypky cca 1 až 2 pytle. Je určen především pro objemově menší aplikace. Jeho výkonost je 450 až 800 kg za hodinu. Tento stroj byl použit pro testovací segmenty viz Obr. 68, Obr. 71, Obr. 72. Stroj X-FLOC Zellofant (Obr. 74), který se vyznačuje vyššími nároky na kvalitu obsluhy, ale také lepším pracovním komfortem a seřiditelností. X-FLOC Zellofant byl použit pro testovací segment viz Obr. 82.



Obr. 74 - Aplikační stroje pro aplikace foukaných izolací. [44]

Samotná aplikace foukané celulózy do stavebních konstrukcí je zajišťována speciální koncovkou X-JET 63 či X-JET 75, která zajišťuje rozložení izolace v dutině obvodového pláště díky flexibilní hadici a rotačnímu pohybu viz Obr. 75.



Obr. 75 - Speciální aplikační koncovka [44] a schéma postupu aplikace.

## 10.6 Nová technologie aplikace foukaných izolací

Jedním z přínosů disertační práce je nová technologie aplikací foukaných izolací do obvodových plášťů. Progresivní technologie významně ovlivnila, již ve stupni vývoje, konstrukci optimalizovaného dřevěného prvku pro obvodové pláště, tak aby přínosy nové technologie byly maximálně využity. Nové způsoby aplikace tepelné izolace do optimalizované konstrukce obvodových plášťů dřevostaveb byly konzultovány s aplikační firmou. Cílem nové technologie je konstrukční řešení obvodového pláště dřevostaveb, které výrazně zefektivňuje aplikaci foukaných tepelných izolací. Výhodou technologie je, že kompletní instalaci vláknité izolace lze do standardního rodinného domu provést ve velmi krátkém čase jednoho až dvou pracovních dnů.

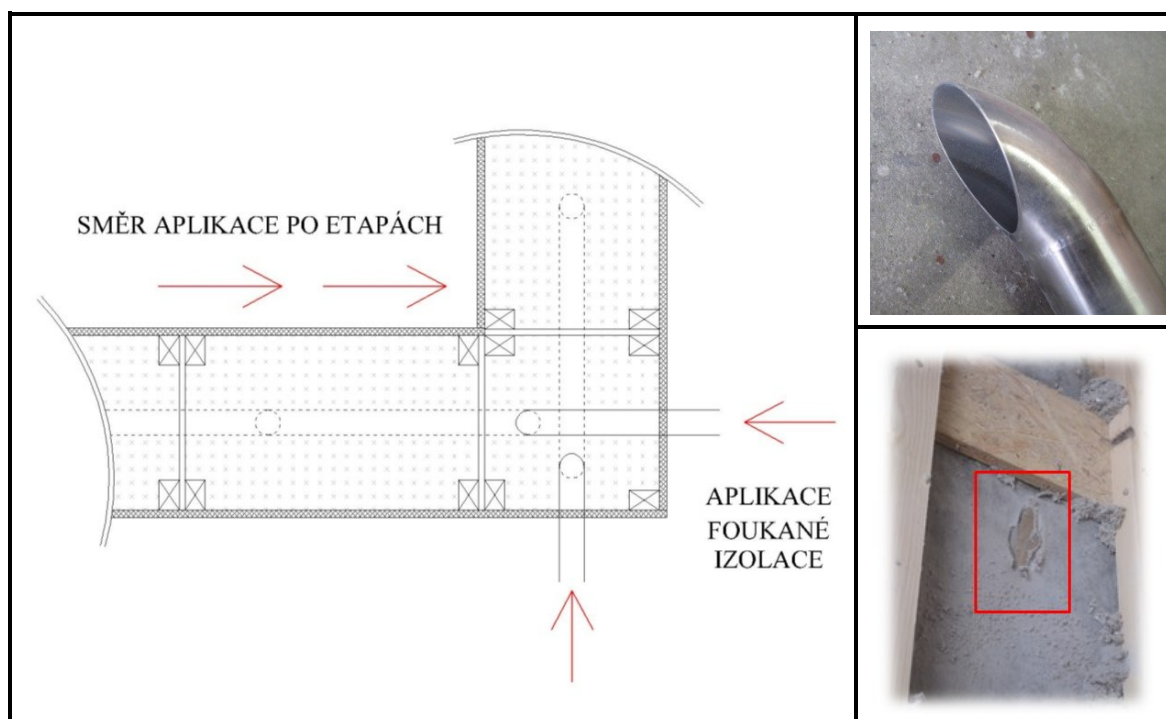
Základní koncepce nové technologie tkví v opuštění standardního postupu aplikací foukaných izolací do obvodového pláště z exteriéru či interiéru stavby. Optimalizovaný nosný prvek obvodového pláště dovoluje etapovou aplikaci izolace z rohů či nároží budovy (viz *Obr. 77*) a tím je zajištěna aplikace do více polí jediným vývrtem v rohu budovy pro jeden směr aplikace. Při aplikaci v prvním směru se rohové pole zanechává volné a zafouká se až po aplikaci tepelné izolace do druhého směru obvodového pláště budovy. Zafoukávání více polí najednou se provádí prodlouženou aplikační jehlou, která vždy při aplikaci prostupuje přes prolamovaný nosník mimo spojku. Nejčastěji pod poslední vrcholovou spojkou tzn. cca 300 mm od vrcholového konce nosníku (viz *Obr. 77*). Na konci jehly je nutné osadit hrot, aby mohlo dojít k perforaci difuzní fólie a tím postupnému etapovému posunu aplikace izolace do obvodového pláště. Je nutnost provádět aplikaci od nejvzdálenější komory po komoru nejbližší rohu dané budovy. Limitem aplikace počtu polí je osazení oken a dveří, což je v praxi řešeno tím, že se perforace nosníku provádí nejlépe v nadpraží. V případě okenního otvoru je nutné prostor obvodového pláště pod okenním prvkem zaaplikovat standardní technologií (kap. 10.5). Obecně lze říci, že možnosti aplikací touto novou technologií jsou limitovány složitostí a celkovou tvarovou koncepcí stavby. Je ovšem předpoklad, že nové stavby budou mít stále kompaktnější tvary (kap. 6.1). Grafické vyobrazení nové technologie aplikací pro kompaktní rodinný dům (*Obr. 78*) lze nalézt na *Obr. 79*. Nespornou výhodou nové technologie aplikace foukaných izolací je i finanční hledisko. Jako náhradu dřevěné stojiny nosníku lze použít difuzní fólii, netkanou textilií či jakýkoliv obdobný materiál dle konkrétní ceny na trhu. Vždy bude  $m^2$  těchto materiálu výrazně levnější než deskové materiály typu OSB. To znamená, že pro zajištění komor v obvodovém plášti nemusíme využívat deskové materiály, ale lze využít zmíněné ekonomicky vhodnější materiály. Na základě tohoto se vyvinutý nosník stává ekonomicky konkurenceschopný (např. pro Steico Joist) na trhu dřevostaveb.





Obr. 76 - Pohled do komory segmentu obvodového pláště s nosníkem s využitím netkané textilie.

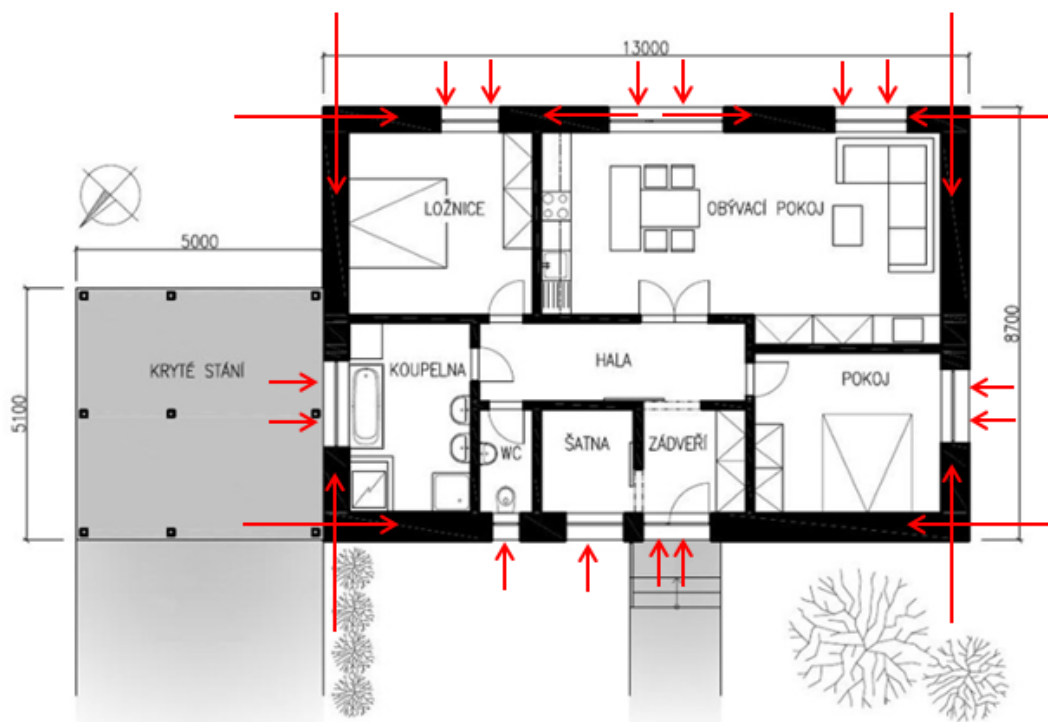
Pro novou progresivní aplikaci foukaných izolací do obvodových plášťů dřevostaveb je dnem 5. 11. 2012 získána tzv. „Ověřená technologie“ s názvem „Konstrukční systém na bázi dřeva určený pro stavby zateplené foukanou izolací“ s evidenčním číslem 042/05-11-2012\_OT. Ověřená technologie je výsledkem aplikovaného výzkumu. Jedná se o výsledek výzkumu a vývoje, kde novost technologie je aplikována u výrobního postupu.



Obr. 77 - Princip aplikace v rohu dřevostavby, koncovka aplikační jehly a perforace difuzní folie pod spojkou členěného prvku.



Obr. 78 - Ilustrační příklad kompaktního rodinného domu. [44]



Obr. 79 - Grafická ukázka nové aplikace foukané izolace v rodinném domě.

Pro ověření aplikace foukaných izolací v ose stěny byl vyroben zkušební segment (Obr. 81). Reálný vzorek (Obr. 81) je po odpláštění vyobrazen s postupem aplikace celulózové izolace. V obrázku je možno sledovat vizuálně vysokou kvalitu provedení foukané izolace i přesto byly odebrány z každého pole po výšce segmentu celkem tři vzorky pro kontrolu objemové hmotnosti. Fotodokumentaci z prováděných zkoušek je možno vidět na Obr. 82.

## NOSNÍKY:

## NOSNÍK S PERLINKOU

4 x LATĚ 50 x 40 mm, délka 3000 mm

48 x SPONKA délka cca 60 mm

PERLINKA 3000 x 350 mm (1,05m<sup>2</sup>)

## 3 x NOSNÍK S PERLINKOU:

SUMA: 12 x LATĚ 50 x 40 mm, délka 3000 mm

144 x SPONKA délka cca 60 mm

PERLINKA (3,15m<sup>2</sup>)

## NOSNÍK S DIFÚZNÍ FOLIÍ- PRO ZAMĚNU

4 x LATĚ 50 x 40 mm, délka 3000 mm

48 x SPONKA délka cca 60 mm

DIFÚZNÍ FOLIE 3000 x 350 mm (1,05m<sup>2</sup>)

## 2 x NOSNÍK S DIFÚZNÍ FOLIÍ:

SUMA: 8 x LATĚ 50 x 40 mm, délka 3000 mm

96 x SPONKA délka cca 60 mm

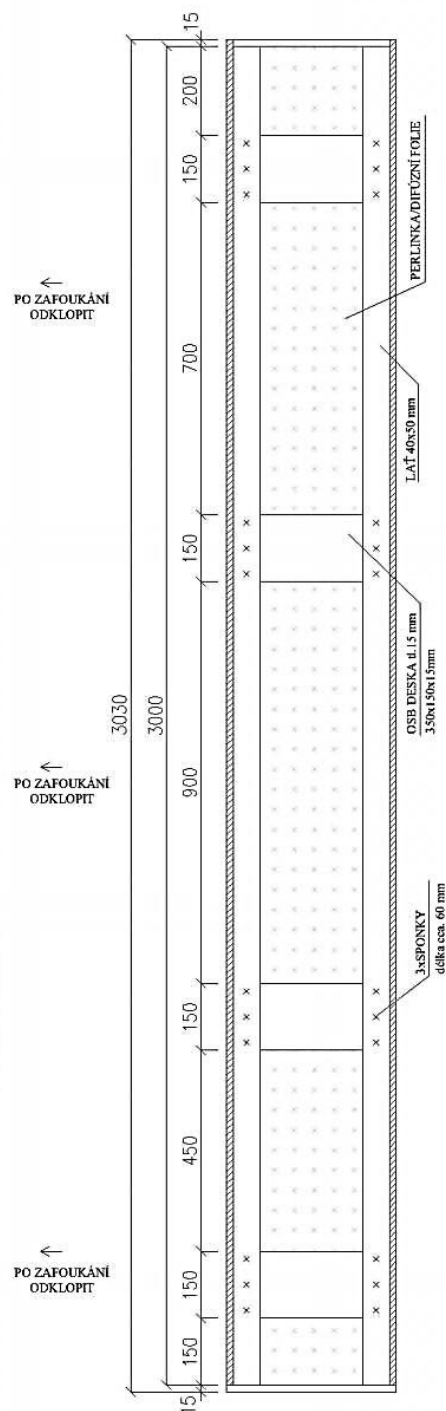
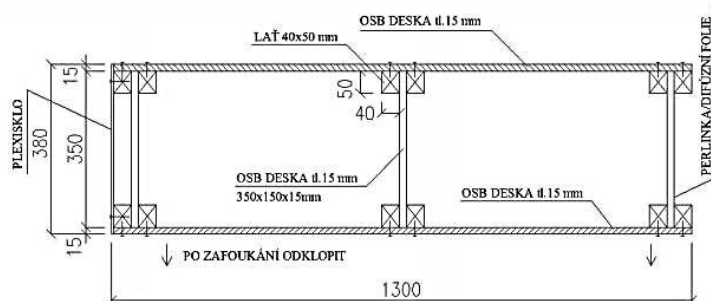
DIFÚZNÍ FOLIE (2,10m<sup>2</sup>)

SUMA: 20 x LATĚ 50 x 40 mm, délka 3000 mm

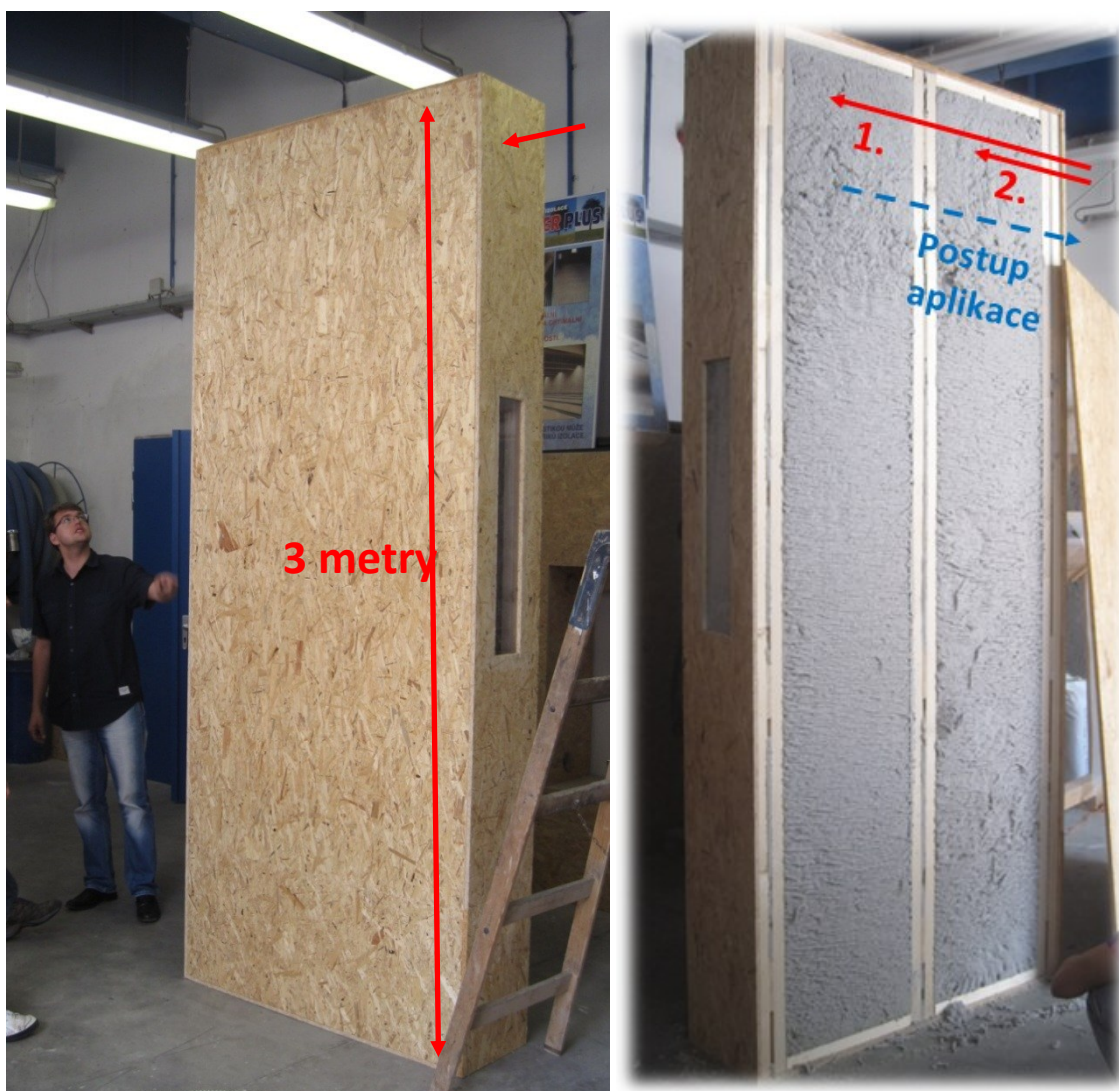
240 x SPONKA délka cca 60 mm

PLEXISKLO 380 x 3030mm (1,15m<sup>2</sup>)PERLINKA (3,15m<sup>2</sup>)DIFÚZNÍ FOLIE (2,10m<sup>2</sup>)

80 x VRUT délka cca 40 mm (PRO KOTEVNÍ OSB A PLEXISKLA)

OSB: OPLÁŠTĚNÍ 8 m<sup>2</sup> + 20 x SPOJKY 350x150x15 mm (1,05m<sup>2</sup>- 5 nosníků)

Obr. 80 - Projektová dokumentace zkušebního segmentu, podle kterého byl reálný testovací prvek vyroben.



*Obr. 81 - Testovací segment (3 metry) s vyznačenou aplikací foukané celulózy v ose stěny.*





Kompletní zkušební segment



Pohled na nosník bez difuzní folie



Pohled v ose segmentu po zkušební aplikaci



Členěný prvek s difuzní folií po kompletní aplikaci foukané izolace



Aplikace izolace v ose zkušebního segmentu



Odpláštěný vyfoukaný segment po zkušební aplikaci

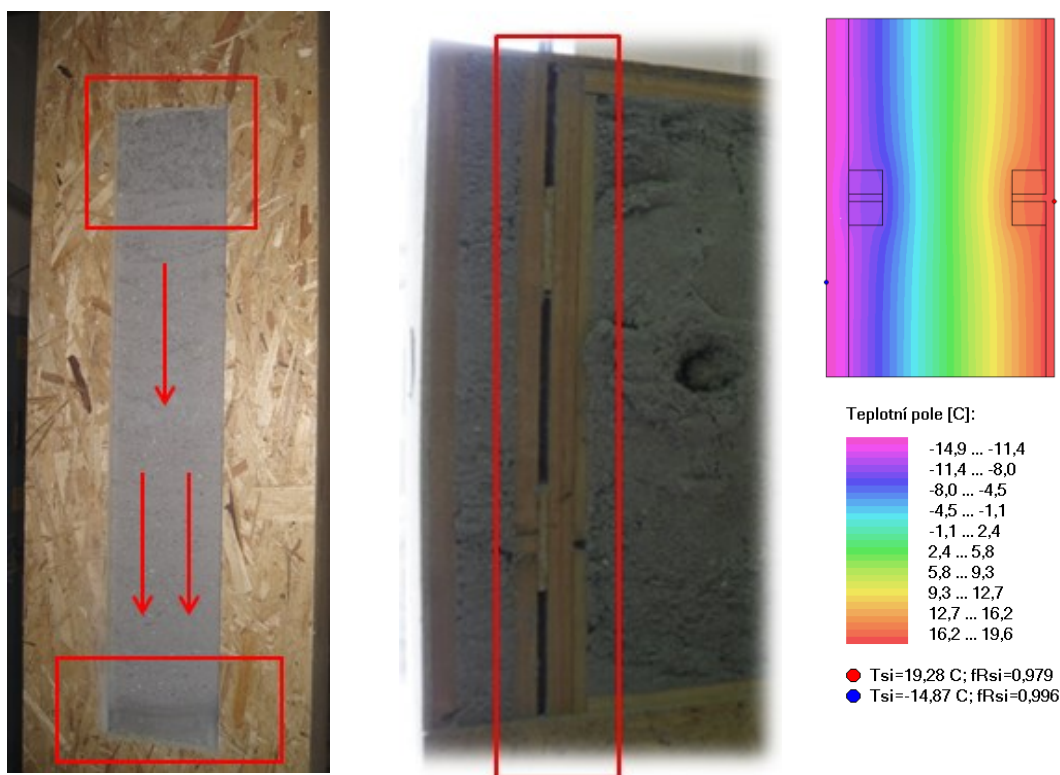
*Obr. 82 - Testovací segment obvodového pláště během ověřovacích zkoušek aplikace.*

### 10.7 Problematika homogenity foukaných izolací

U výplňových izolací se publikuje, že nehraje žádnou roli, o jak velké prostory určené k vyplnění se jedná. Při zkouškách aplikací tepelných izolací novou technologií mezi optimalizované prolamované nosníky obvodového pláště byly zaznamenány tvorby kaveren. Kaverny, výdutě či dutiny ve foukané vláknité celulózové izolaci představují problém obzvláště z pohledu budoucího sesedání materiálu v dutině obvodového pláště. Pro dlouhodobě stabilní celulózovou izolaci v obvodovém plášti dřevostaveb je nezbytné, aby celulózová izolace tvořila v dutině mezi nosníky kompaktní celek. Eliminací kaveren zajistíme trvalou polohu celulózových vláken. Výdutě mohou ohrožovat funkčnost a kompaktní stabilitu izolace v obvodovém plášti. Kaverny v celulóze dopustit nesmíme, jelikož vlivem času hrozí zavření kaverny okolním materiálem a tím snížení objemové hmotnosti, což inklinuje k problémům sesedání tepelné izolace v obvodovém plášti budovy a tvorbě tepelných mostů. Pokud nám v obvodovém plášti nevznikají kaverny, tak zajistíme minimalizaci rizika sesedání izolace (při zajištění správné objemové hmotnosti materiálu) a dokonalé utěsnění všech detailů dutiny obvodových plášťů staveb. Výsledkem jsou pak přesně definované trvalé izotropní fyzikální vlastnosti obvodového pláště. Kaverny v tepelné izolaci můžeme rozdělit na primární tzn. kaverny vznikající v důsledku aplikací do konstrukcí nevhodného tvaru. Sekundárními můžeme nazvat ty, které vznikají již v materiálu samotném nezávisle na konstrukci dutin, které vznikají při fluktuaci tepelné izolace v komoře. Jak vyplývá z *Tab. 6* drobné vzduchové kapsy by se z pohledu součinitele tepelné vodivosti staly vítanou tepelně izolační složkou v celulózovém materiálu.

Během experimentálních zkoušek nebyl zaznamenán vznik sekundárních velkých kaveren, což je připisováno správné konstrukci optimalizovaného nosníku a celkovou správnou aplikací celulózových vláken do komor obvodové pláště dřevostaveb. Při aplikaci tepelné celulózové izolace dochází ke značnému přetlaku v komoře obvodového pláště, který způsobuje značnou aerodynamickou fluktuaci proudění vláken celulózy a vzduchu, jejímž důsledkem mohou být primární kaverny. Odhalení problému kaveren vede k nárůstu konstrukční kvality obvodového pláště a jeví se jako vhodný trend v aplikačních technologiích. Je tedy nutné zajistit tzv. připravenost konstrukce obvodového pláště pro aplikace foukaných izolací. Musí být již dokončena montáž vnějšího i vnitřního opláštění obvodových stěn. Při zkušebních aplikacích byla ověřována možnost konstrukce prolamovaného nosníku bez středové difuzní fólie (viz *Obr. 82*), kde se prokázalo, že obtékání celulózového vlákna se vzduchem způsobuje kaverny. Je to způsobeno změnou aerodynamického proudění uvnitř komory. Docházelo k načechrávání celulózy přes nosíkovou spojku a při hutnění se objevovaly primární kaverny. Tento jev byl pozorován přes plexisklo, které bylo v tomto kritickém místě instalováno za účelem vizuální kontroly aplikace foukané izolace. Zmíněný jev je

dokumentován na *Obr. 83*. V horní části dochází v místě nosníkové spojky k významnému načechrání izolace a dochází k postupnému hutnění celulózy a tlačím kaverny směrem k patě segmentu obvodového pláště. Z tohoto plyne závěr, že difuzní fólie ve středu optimalizovaného nosného prvku pro obvodové pláště dřevostaveb nemají pouze separační funkci pro vytvoření komor, ale také funkci aerodynamickou, kdy podporují sklouzávání a hutnění izolace směrem k patě segmentu obvodového pláště. Je tedy nutné použít pro foukané izolace vždy s difuzní fólií (výjimku tvoří sláma, viz *Obr. 26*) Také je nutné mít vždy nosníky otočeny hladkou stranou po směru aplikace izolace tzn. aplikační jehla musí foukanou izolaci distribuovat vždy na hladkou část nosníku (ne ze strany viditelných spojek). Během zkušebních aplikací byl v několika případech pozorován nedostatek tepelné izolace mezi základními latěmi nosníku, kde nedošlo k ideálnímu zafoukání celulózovou izolací. V tomto místě vznikají tzv. primární kaverny viz *Obr. 83*. Při tepelně technickém modelování bylo zjištěno, že vzduch (tepelný izolant) nemá téměř vliv na kvalitu tepelně technického provedení obvodových plášťů, viz grafický výstup *Obr. 83*.

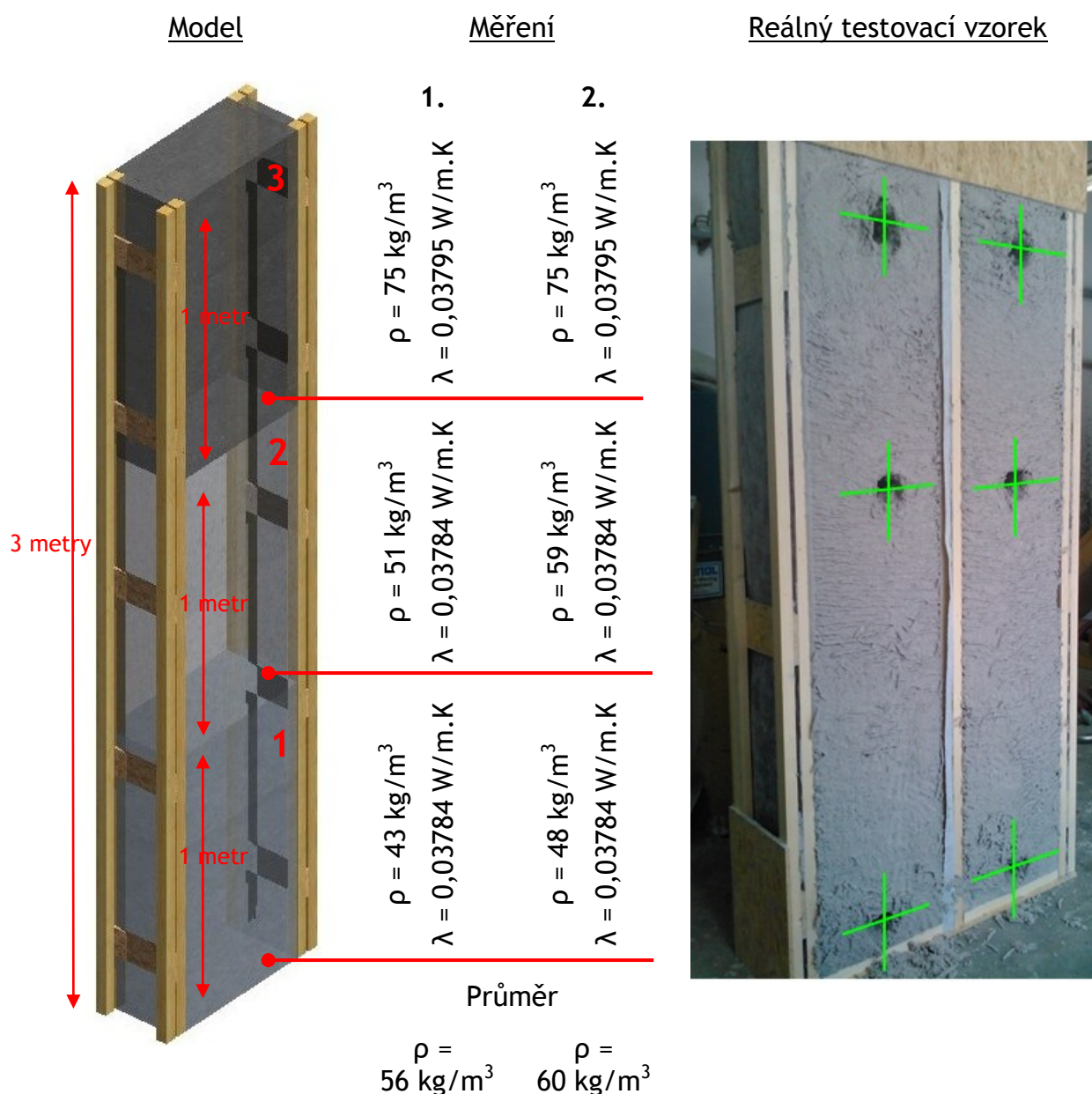


*Obr. 83 - Testovací segment obvodového pláště během ověřovacích zkoušek aplikace.*

Výše zmíněná ověření prokazují celkovou správnost návrhu konstrukčního systému pro foukané izolace.



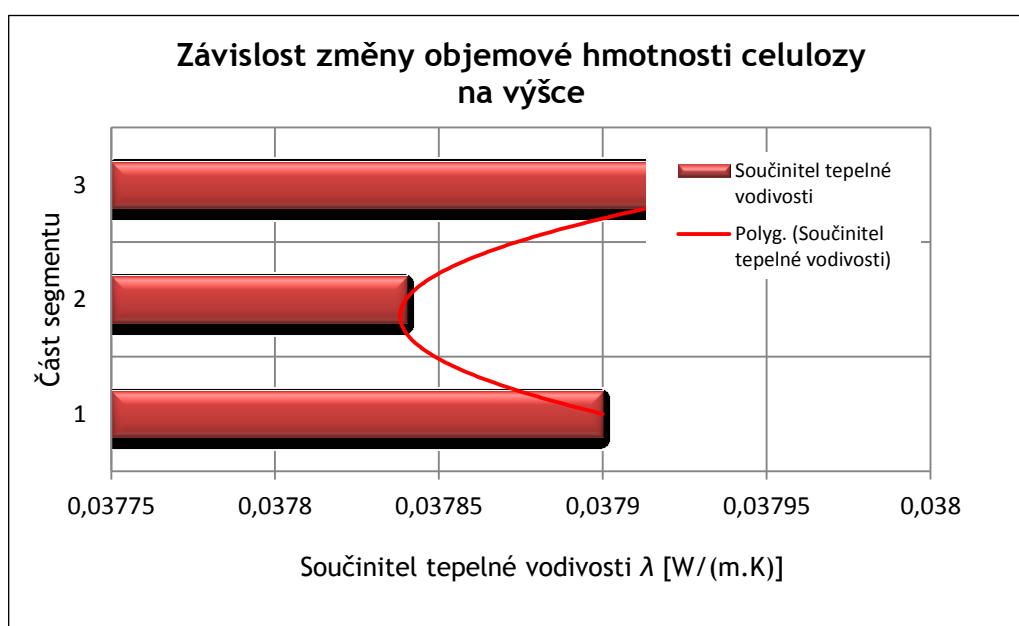
Veškeré základní zkoušky první série pro testování objemové hmotnosti byly prováděny způsobem, který postihuje průměrnou objemovou hmotnost tepelné izolace v dutině obvodového pláště. Prázdné elementy byly převáženy, následně zafoukány celulózovou izolací a opětovně zváženy. Ze získaných hmotnostních a objemových hodnot byla přepočtem získaná průměrná objemová hmotnost aplikovaného celulózového materiálu. Během vývoje a testování největšího foukaného elementu (viz *Obr. 81*) bylo zjištěno, že při těchto dimenzích objemu komory se celulóza nechová standardním způsobem jako při aplikacích do tenčích komor obvodového pláště.



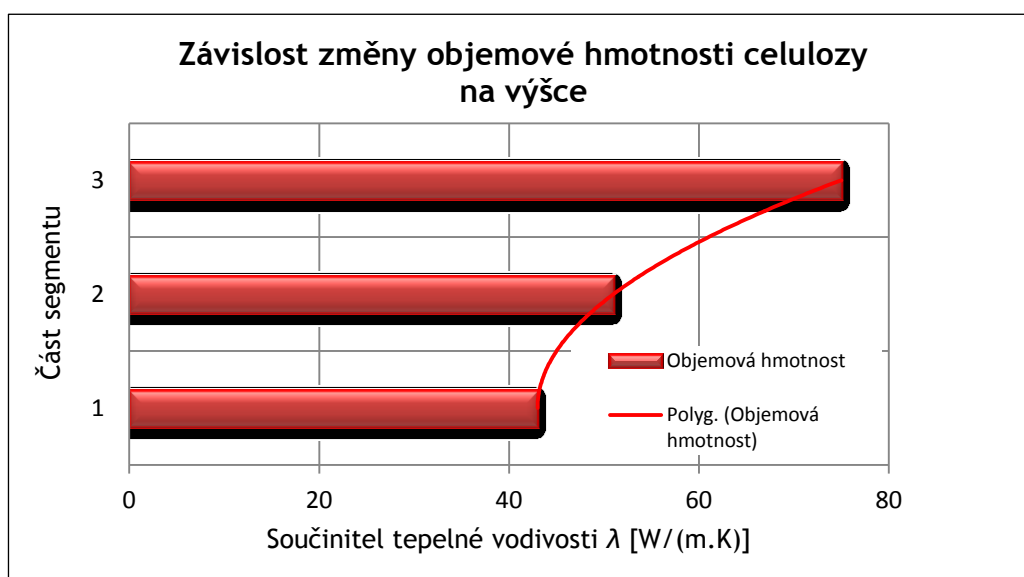
*Obr. 84 - Segment pro odběr vzorků a pro vyhodnocení objemové hmotnosti (zeleně vyznačeny místa kontroly  $\rho$  [ $\text{kg/m}^3$ ]). Vyobrazení dosažených výsledků.*



V Obr. 84 jsou vidět dosažené výsledky na základě odběru vzorků ze zkušebního panelu. Z analýzy naměřených dat bylo prokazatelně doloženo, že v horním místě zkušebního segmentu, což je místo aplikace, celulózá izolace dosahovala největší objemové hmotnosti. Lze usoudit, že nedochází ke správnému hutnění celulózy v patě segmentu a tím k nehomogenitě foukané celulózy po výšce panelu. Nehomogenita objemové hmotnosti  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] prokazatelně ovlivňuje tepelně izolační vlastnosti obvodového pláště. Viz. Obr. 85 a Obr. 86. Lze vysledovat schodnost vrcholové křivky v Obr. 48 a Obr. 85, jelikož vychází ze stejných zdrojových dat.



*Obr. 85 - Závislost změny součinitele tepelné vodivosti na výšce zkušebního segmentu.*



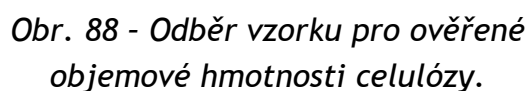
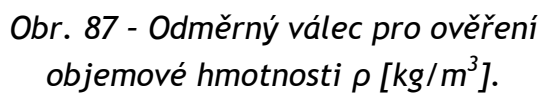
*Obr. 86 - Závislost změny objemové hmotnosti celulózy na výšce zkušebního segmentu.*

V patě segmentu je naměřeno při prvním měření dokonce pouhých  $\rho = 43 \text{ kg/m}^3$ , což v budoucnu může stabilitu celulózové výplně ohrozit sesedáním. Druhý test vykazoval podobné hodnoty. Tyto nedostačující výsledky byly dále analyzovány a bylo zjištěno, že tento jev vzniká tím, že se jedná o dutinu velkých objemů pro foukané aplikace a nevhodně zvolené aplikační koncové zařízení. Během opakovaných pokusů byla nasazena aplikační koncovka s provlečnou hadicí (viz *Obr. 75*), čímž bylo dosaženo výrazně lepších výsledků. Bylo dosaženo průměrné objemové hmotnosti  $\rho > 65 \text{ kg/m}^3$ . Nutno však říci, že průběh změny objemové hmotnosti celulózy po výšce se stále významně měnil. Tento nepříjemný jev způsobuje zvýšené množství aplikovaného materiálu a ve finálním výsledku nežádoucím zvýšení ceny zateplení pomocí foukaných izolací.

Veškeré odběrné vzorky pro kontrolu objemové hmotnosti  $\rho [\text{kg/m}^3]$  byly prováděny pomocí odměrného válce (*Obr. 87*), který byl zvážen a v závislosti na jeho objemu byla získány objemové hmotnosti aplikované celulózy. V tabulce *Obr. 27* lze vidět objemové hmotnosti  $\rho [\text{kg/m}^3]$  v závislosti na odebraných vzorcích. V tabulce jsou vyznačeny tloušťky tepelné izolace v obvodovém plášti  $d [\text{mm}]$  a hmotnost odebraných vzorků  $m [\text{g}]$ . Hodnoty seřazené v tabulce jsou odvozeny od objemu zkušebního válce a hmotnosti odebraného vzorku. Zdroj dat pro sestavení *Tab. 26* byl získán od CIUR a.s. Tmavě šedou barvou jsou v tabulce vyznačeny ideální hodnoty pro objemové hmotnosti izolace v obvodovém plášti budov, které se jeví vzhledem k množství použitého materiálu jako ekonomicky nejvýhodnější.

Při hlubší analýze bylo zjištěno, že základní koncovka je určena pro rozptýlení aplikované celulózy do šířky obvodového pláště (při aplikaci z čela), což nevyhovuje nové technologii aplikace foukaných izolací. Z tohoto důvodu se v současnosti intenzivně pracuje na vývoji nové aplikační koncovky pro novou aplikaci foukaných izolací, která zajistí homogenní objemovou hmotnost  $\rho [\text{kg/m}^3]$  v celém objemu dutiny obvodového pláště. Analýza a vyhodnocení dosažených výsledků bylo o to složitější, že výše zmíněný segment obvodového pláště (viz *Obr. 81*) bylo nutno několikrát zafoukat, rozebrat, tepelnou izolaci z konstrukce odstranit a recyklovat v výrobním procesu. Po té bylo přistoupeno k opakované aplikaci nové celulózy izolace, což zvedalo časovou i finanční nákladnost ověřovacích testů. Opakované testy byly jedinou cestou jak ověřit vývojové prognózy a získat závěry o aplikaci foukaných izolací do nově vyvíjené konstrukce obvodových plášťů.

Tab. 27 - Stanovení objemové hmotnosti pro odebrané vzorky



Během zkušebních aplikací byl často řešen problém, jaké množství celulózové izolace je nutno do dané komory použít. V praxi je to řešeno přepočtem odhadnutého objemu komory a množství potřebného materiálu pro správnou aplikaci. Pokud je budoucím cílem, vyvinout prefabrikovaný systém pro pasivní domy s výplňovými izolacemi na základě optimalizovaného prolamovaného nosníku, bude velmi vhodné přesně množství potřebného materiálu definovat. Viz *Tab. 28* kde jsou uvedeny potřeby množství izolantu pro tloušťky tepelné izolace s osovou vzdáleností prolamovaných prvků 600 mm. Zdrojová data pro *Tab. 28* vycházejí ze základního výpočtu pro stanovení potřebného množství materiálu.

Z půdorysné plochy charakteristického výseku obvodového pláště  $A_{op}$ :

$$A_{op} = (a \cdot b) [m^2] \quad (41)$$

kde  $a$  je šířka tepelné izolace [mm];

$b$  charakteristický výsek obvodového pláště [m];

a půdorysná plocha latí  $A_l$ :

$$A_l = 4 \cdot (a_l \cdot b_l) [m^2] \quad (42)$$

kde  $a_l$  je tloušťka latě [m];

$b_l$  šířka latě [m].

Celková plocha se získá ze vztahu  $A_c$ :

$$A_c = A_{op} - A_l [m^2] \quad (43)$$

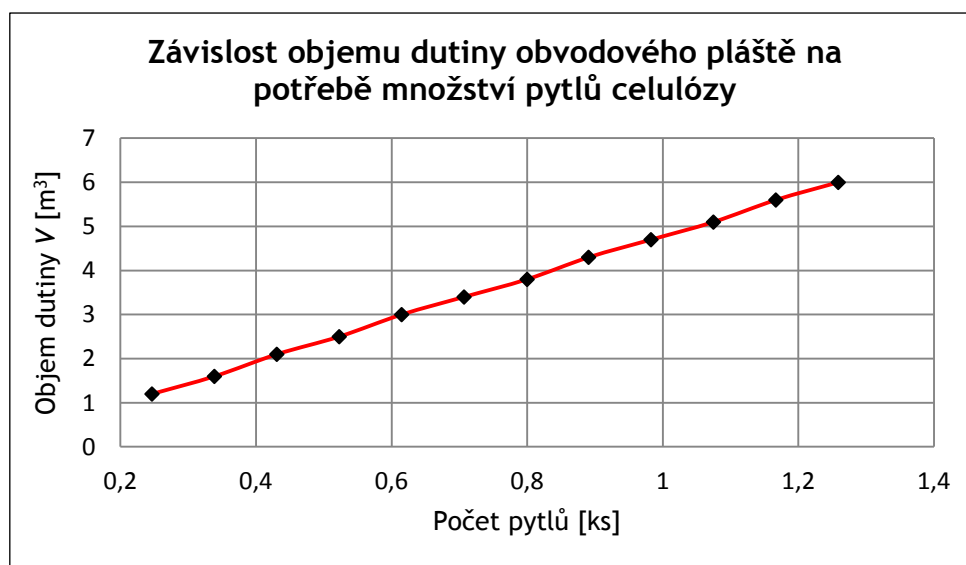
a celkový objem komory  $V_c$  pro výšku panelu 3 m je:

$$V_c = 3 \cdot A_c [m^3] \quad (44)$$

Pro zajištění stabilní foukané izolace v obvodovém plášti by mělo být dosaženo alespoň objemové hmotnosti  $\rho = 65 \text{ kg/m}^3$ . Množství materiálů potřebného pro správnou aplikaci izolací do obvodového pláště s prolamovaným nosníkem je potřeba přepočítat na potřebnou hmotnost celulózy  $m$  [kg], což znamená, získaný objem komory vynásobit objemovou hmotností  $\rho = 65 \text{ kg/m}^3$ . Komprimovaná celulóza se standardně dodává v pytli o váze 13,6 kg. Získanou hmotnost  $m$  vydělíme 13,6 a získáme potřebné množství pytle na jednu komoru obvodového pláště. Hodnoty pro různé šířky obvodového pláště jsou k nahlédnutí v *Tab. 28*. Grafický předpokládaný lineární nárůst potřeby materiálu je vidět na *Obr. 89*.

**Tab. 28 - Potřeba celulózového materiálu pro různé šířky tepelné izolace v obvodovém plášti**

Šířka tepelné izolace v obvodovém plášti $d$ [mm]	Objem dutiny $V$ [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost celulózou do jedné komory $m$ [kg]	Počet pytlů [ks]
150	0,247	16,06	1,2
200	0,339	22,04	1,6
250	0,431	28,01	2,1
300	0,523	34,00	2,5
350	0,615	40,00	3,0
400	0,707	45,94	3,4
450	0,800	51,92	3,8
500	0,891	57,90	4,3
550	0,983	63,87	4,7
600	1,075	68,85	5,1
650	1,167	75,80	5,6
700	1,259	81,80	6,0



**Obr. 89 - Testovací segment obvodového pláště během ověřovacích zkoušek aplikace.**

Pomocí výše uvedené tabulky a grafické závislosti je možno při praktické aplikaci foukané izolace kontrolovat množství materiálu, který byl do komory obvodového pláště dodán, podle počtu pytlů. Možnou finální revizí správného provedení foukaných tepelných izolací je vytápěných budov v zimním je využití termovizního měření. Pokud termovizní měření odhalí nedostatky je možno zmíněné lokality dodatečně zafoukat.

## 11 ZÁVĚR

Technologický pokrok v oblasti nových materiálů a technologií pro stavby vede ke snižování spotřeby provozní energie budov. Právě tento celoevropský společenský trend je impulsem pro rozvoj technologií a materiálů. Můžeme tedy očekávat progresivní zvyšování tepelně technických požadavků na obvodové pláště staveb.

Disertační práce řeší pět stěžejních částí a rekapituluje dosažené výsledky přibližně dvouletého vývoje. Tato práce se přednostně zabývá aplikacemi recyklovaného či ekologického materiálu ve stavebním průmyslu, čímž lze snížit spotřebu primární výrobní energie a chránit životní prostředí. Jedním z přínosů práce je prokázání možností těchto materiálů v nejnáročnějších aplikacích nastupující éry konstrukcí obvodových plášťů pro budovy v pasivním standardu. Součástí práce je tedy definice a analýza tepelně technických parametrů výplňových vláknitých izolantů. Tyto materiály prokazatelně nepřispívají ke zhoršení vlastností a trvanlivosti konstrukčního řešení obvodových plášťů, což je dokázáno detailní analýzou tepelně technických posouzení v této práci. Na základě dosažených výsledků lze tedy deklarovat, že recyklované ekologické materiály splňují všechny kvalitativní požadavky kladené na dnes tradičně používané stavební materiály a v blízké budoucnosti jim lze predikovat širší použití ve stavebním průmyslu.

Z této predikce je dále odvozen vývoj optimalizovaného dřevěného prolamovaného prvku pro obvodové pláště staveb na bázi dřeva s výplňovými izolacemi. Dřevěný stěnový optimalizovaný prvek umístěný ve vrstvě tepelné výplňové izolace je již od počátku navrhován s velkým důrazem na eliminaci tepelných mostů. Významným přínosem je jeho variabilní šířka pro aplikace flexibilních tloušťek tepelných izolací. Při vývoji byla věnována pozornost tepelně technickému řešení, které v disertační práci podléhá pečlivé detailní analýze pomocí 1D, 2D a 3D numerických metod. Pro nový optimalizovaný prolamovaný prvek jsou navrženy různé materiálové skladby obvodových plášťů, které jsou vyhodnoceny numerickou tepelně technickou analýzou.

V disertační práci jsou dále prezentovány výsledky ze zkušebních zevrubných praktických ověřovacích testů aplikací celulózových tepelných izolací do optimalizovaného obvodového pláště. Na základě zkoušek, prováděných v přímé spolupráci s výrobcem celulózové izolace, byl prolamovaný prvek pro obvodové pláště dále vyvíjen a optimalizován. Je vyvinuta nová aplikace foukaných izolací do obvodových plášťů dřevostaveb. Tato technologie sleduje celosvětový trend snížení pracnosti na pracovišti. Z experimentálních ověření byly definovány specifiky nové aplikační metody a na základě rozborů získaných výsledků je predikován vývoj pro aplikace foukaných izolací.

V procesu vývoje se vždy uplatňuje rozvoj poznání a lidská snaha věci vylepšovat. Cílem bylo vypracovat disertační práci co nejlépe s maximálním uplatněním znalostí a vědomostí, které byly získány během dosavadního studia a díky této práci jsou významně rozšířeny a ověřeny. Zpracování disertační práce přispívá k rozšíření zvoleného tématu o myšlenky a inovace, což slouží k rozvoji tématu pasivních staveb a predikuje cestu dalšího vývoje.

### **Přínosy pro praxi**

Značná část práce přináší hlubší definici a analýzu materiálových a tepelně technických charakteristik pro specifickou oblast tepelných izolací. Z rozborů je zřejmé, že ekologické materiály mohou být vhodným tepelně izolačním materiálem pro moderní obvodové pláště budov v pasivním standardu. Přínosem disertační práce pro stavební praxi je návrh a ověření optimalizovaného prolamovaného dřevěného prvku pro obvodové pláště dřevostaveb v pasivním standardu. Praktickým výsledkem je numerická tepelně technická analýza série navržených optimalizovaných skladeb obvodových plášťů pro pasivní domy, které dokládají možnosti použitých výplňových tepelně izolačních materiálů. Významným výsledkem je nová technologie aplikace foukaných izolací do obvodových plášťů dřevostaveb, která v praxi jistě podpoří počet realizovaných staveb s výplňovými tepelnými izolacemi. Analýzou materiálových vlastností či novou technologií byly odhaleny základní limity a úskalí aplikací v ose obvodového pláště. Disertační práce shrnuje výsledky získané během dvouletého vývoje, které si kladou za cíl být přínosem ke správnému technickému provedení foukaných izolací a tedy je přímým obohacením stavební praxe. Součástí disertační práce jsou podklady pro praxi, využitelné při současných aplikacích celulózových izolací, ale také pro budoucí vznik nového konstrukčního systému, který bude vhodný pro prefabrikovanou výrobu budov v pasivním či nulovém standardu.

### **Doporučení pro další postup ve výzkumu**

Výzvou pro budoucí výzkum je přesná specifikace materiálových charakteristik výplňových přírodních materiálů, obzvláště v oblasti tepelné vodivosti, objemové hmotnosti či difuze vodních par.

Experimenty v rámci disertační práce prokázaly, že průměrná objemová hmotnost aplikovaného materiálu nemusí mít vždy vypovídající hodnotu, proto je nutné se během dalšího vývoje dále zabývat rozvojem nové aplikační technologie s cílem zajištění dokonalé izotropie objemové hmotnosti v obvodových pláštích dřevostaveb.

## 12 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KLAUS, Václav. *Modrá, nikoli zelená planeta: co je ohroženo: klima, nebo svoboda?*. 2., rozš. vyd. Praha: Dokořán, 2009, 212 s. ISBN 978-807-3632-434.
- [2] HAVÍŘOVÁ, Zdeňka. *Konstrukční ochrana dřeva zabudovaného ve stavbách*, In: *Stavební partner* [online]. 01. 10. 2012. Dostupné z: <http://partnerstvistavebnictvi.msdk.cz/emagazin/files/assets/common//downloads/publication.pdf>, ISSN 1805-5958
- [3] ČSN 73 0540. *Tepelná ochrana budov*, část 1 - terminologie, část 2 - Požadavky, část 3 - Návrhové hodnoty veličin, část 4 - Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005 a 2011.
- [4] KABELE, Karel. *Revize evropské směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov*. In: *TZB-info* [online]. 30. 08. 2010. TZB - info, 2010 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov/6739-revize-evropske-smernice-2002-91-es-o-energeticke-narocnosti-budov>
- [5] ČSN EN 14064-1. *Tepelně izolační výrobky pro stavby - Výrobky z foukané minerální vlny vyráběné in-situ: Část 1: Specifikace výrobků před zabudováním*. 2010. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [6] SMĚRNICE 2010/31/EU. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU: o energetické náročnosti budov (přepracování)*. 19. 05. 2010. Evropský parlament a rada evropské unie, 2010.
- [7] SKOTNICOVÁ, Iveta a Jiří LABUDEK. *Stavební tepelná technika I: studijní texty pro cvičení*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 83 s. ISBN 978-80-7204-767-3.
- [8] VAVERKA, Jiří et al. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2006, 648 s. ISBN 80-214-2910-0.
- [9] KALOUSEK, Miloš a Danuše ČUPROVÁ. *Modelování tepelných mostů*. In: [online]. 13. ANSYS Users' Meeting. VUT Brno, 2005 Přerov[cit. 2012-11-06]. Dostupné z: [http://mostreal.sk/13\\_AUM\\_05/data/13.AUM05-Sborník/Poleteplo,emag,proudění/Kalousek&Cuprova\\_Modelovani\\_tepelných\\_mostu.pdf](http://mostreal.sk/13_AUM_05/data/13.AUM05-Sborník/Poleteplo,emag,proudění/Kalousek&Cuprova_Modelovani_tepelných_mostu.pdf).



- [10] ČSN EN ISO 13788. *Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků: Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody (73 0544)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002
- [11] VAVRUŠOVÁ, Kristýna a Antonín LOKAJ. Dřevo a materiály na jeho bázi ve stavebnictví. In: *Stavební partner* [online]. 01. 10. 2012. Dostupné z: <http://partnerstvi-stavebnictvi.msdk.cz/emagazin/>, ISSN 1805-5958.
- [12] NIEMINEN, J. *Need for a vapour barrier in a wooden wall*. In: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. Espoo, 1989.
- [13] SIKANDER, E. *Moisture resistance of number of types of building structures*. Swedish national testing and research institute Stockholm: Swedish.1996.
- [14] NOSKIEVIČ, Pavel. *Energetická zamyšlení*. Ostrava: Výzkumné energetické centrum VŠB-TU, 2012, 139 s. ISBN 978-80-248-2614-1.
- [15] NICOLAJSEN, Asta. *Building and environment: Thermal transmittance of a cellulose loose-fill insulation material*. Technical University of Denmark: Elsevier, 2005. ISBN 0360-1323. s. 907-914.
- [16] SVOBODA, Zbyněk. *Tepelná ochrana budov: Vzduchotěsnost dřevěných konstrukcí a její tepelně vlhkostní souvislosti*. Praha: CZB, ČKAIT, 2008, roč. 2008, č. 4. ISSN 1213-0907.
- [17] SOLAŘ, Jaroslav. *Problematika nadměrné vlhkosti u střešních pláštů šikmých a strmých střech*. In: *TZB-info* [online]. 23. 07. 2012. 2012 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/strechy/8852-problematika-nadmerne-vlhkosti-u-stresnich-plastu-sikmych-a-strmych-strech>.
- [18] ALBERS, K.J., Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. Karl-Josef. *Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise: aktuelle Werkstoffe, Entwurfsplanung, Konstruktionen, Bauphysik und Haustechnik im Holzbau, Vorteile bei Vorfertigung und Montage*. 1. Auflage. Kissing: WEKA Media, 2001. ISBN 38-277-1195-9.
- [19] TYE, R.P. *Journal of testing and evaluation: Heat transmission in cellulosic fibre insulation materials*. 1974. ISSN 0090-3973.
- [20] SANDBERG, P. *Thermal Performance Exterior Envelopes of Buildings V: Determination of the effects of moisture on the thermal transmissivity of cellulose fiber loose fill insulation*. 12. vyd. 1992, s. 517-526.
- [21] TYE, R.P. a S.C. SPINNEY. *Journal of building physics: A Study of the Effects of Moisture Vapour on the Thermal Transmittance Characteristics of Cellulose Fibre Thermal Insulation*. New York, USA: Journal Citation Reports, 1979. ISSN 1744-2583. s. 175-196.

- [22] PEUHKURI, Ruut et al. *Building and environment: Non-isothermal moisture transport through insulation materials*. Květen 2008. Technical University of Denmark: Elsevier, 2008. ISSN 0360-1323. s. 811-822
- [23] SCHULZE, Burkhard. *14th International Passive House Conference 2010: Klimatická neutralita budov do roku 2050*. Petra Pochmanová. Nürnberg, 2010. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/7661-klimaticka-neutralita-budov-do-roku-2050>
- [24] RASMUSSEN, T.V. *Journal of thermal envelope and building science: Modelling settling of loose-fill insulation in walls, part. I*. Danish Building Research Institute: Building Design and Technology, 2001. ISSN 1097-1963. s. 129-141.
- [25] RASMUSSEN, T.V. *Journal of thermal envelope and building science: Modelling settling of loose-fill insulation in walls, part. II*. Danish Building Research Institute: Building Design and Technology, 2002. ISSN 1097-1963. s. 189-208.
- [26] MACHÁČKOVÁ, Adéla et al. *Sdílení tepla a proudění*. Vyd. 1. Ostrava, 2012, 142 s. ISBN 978-80-248-2576-2
- [27] ČSN EN ISO 10456. *Stavební materiály a výrobky: Tepelně vlhkostní vlastnosti - Tabelované návrhové hodnoty a postupy pro stanovení deklarovaných a návrhových tepelných hodnot 73 0574*. 1. 6. 2008. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [28] ĎURICA, Pavol et al. *IV. Vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou: Experimentálne merania obalových konštrukcií v laboratórnom centre KPSU SVF v Žiline*. Terchová: Žilinská univerzita v Žiline, 2011. ISBN 978-80-970171-9-4
- [29] ČSN EN ISO 10211. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích: Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty (730551)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1. 10. 1997.
- [30] VRÁNA, Tomáš a Kjartan GUDMUNDSSON. *Construction and Building Materials: Comparison of fibrous insulations - Cellulose and stonewool in terms of moisture properties resulting from condensation and ice formation*. Reigate: Scientific and Technical Press, 2010. ISSN 0950-0618; DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.12.026. s. 1151-1157
- [31] NOVÁK, J. *Materiály pro stavbu: Zajištění vzduchotěsnosti budov pomocí desek OSB*. Praha: Springer Media CZ, s. r. o, 2012, 03/2012. ISSN 1213-0311. s. 31-33.

- [32] HALAHYJA, Martin et al. *Stavební tepelná technika, akustika a osvětlení*. Vydavatelství ALFA, Bratislava, SNTL 1985, 736 s.
- [33] ŘEHÁK, Ivo. *HASOFT: Děláme věci, které fungují* [online]. [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: [www.hasoft.cz](http://www.hasoft.cz)
- [34] Česká Republika. Zákon, kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb.: o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů ČR*. Česká Republika, 2012. Pozn.: Bude nahrazen zákonem č. 318/2012 s účinností od 1. 1. 2013.
- [35] Česká Republika. Zákon č. 183/2006 Sb.: stavební zákon a související předpisy (stavební zákon). In: *Sbírka zákonů ČR*. Česká Republika, 2006.
- [36] Česká Republika. Vyhláška č. 268/2009 Sb.: o technických požadavcích na stavby. In: *Sbírka zákonů ČR*. Česká Republika, 2009.
- [37] ČSN EN ISO 14683. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích: Lineární činitel prostupu tepla - Zjednodušené metody a orientační hodnoty (730561)*. 1. 2. 2009. Praha, ČR: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [38] SVOBODA, Jiří et al. Nový stavební systém pro dřevostavby pasivních domů. In: *TZB-info* [online]. ČR, 2008 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4860-novy-stavebni-system-pro-drevostavby-pasivnich-domu>
- [39] *Morgellons Watch: Resources for Morgellons investigators. Skeptical analysis and discussion*. [online]. 2012 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://morgellonswatch.com>
- [40] *Dektime: časopis společnosti Dektrade pro projektanty a architekty*. ČR: DekTrade, 2011, roč. 2011, č. 3. ISSN 1802-4009
- [41] TRUNEČKA, Zbyněk. *TZ - Izolace: Foukaná tepelná a zvuková izolace* [online]. 2009 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: [www.tz-izolace.cz](http://www.tz-izolace.cz)
- [42] ČSN EN 12667. *Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků: Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku - Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu (730569)*. Praha, ČR: Český normalizační institut, 2001.
- [43] *ARNIKA: Recyklace papíru* [online]. 2010 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://arnika.org/recyklace-papiru>
- [44] URBÁNEK, Michal. CUIR a.s.: Brandýs nad Labem [online]. Dostupné z: [www.ciur.cz](http://www.ciur.cz) 2010 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: [www.climatizer.cz](http://www.climatizer.cz)

- [45] Svoboda software - Stavební fyzika: TEPLO 2009, TEPLO 2011, firma K-CAD Praha s.r.o., autor Dr. Zbyněk Svoboda
- [46] Svoboda software - Stavební fyzika: AREA 2009, AREA 2011, firma K-CAD Praha s.r.o., autor Dr. Zbyněk Svoboda
- [47] Svoboda software - Stavební fyzika: CUBE 3D 2009, CUBE 3D 2011, firma K-CAD Praha s.r.o., autor Dr. Zbyněk Svoboda
- [48] Česká republika. Zákon č. 22/1997 sb.: o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů. In: *sbírka zákonů ČR*. Česká Republika, 1997.
- [49] Česká Republika. SMĚRNICE RADY 89/106/EHS: o sbližování právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků ve znění směrnice Rady 93/68/EHS. In: *Sbírka ČR*. Praha, ČR: Rada evropských společenství, 21. prosince 1989.
- [50] Česká Republika. Nařízení vlády č. 163/2002 Sb.: kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění nařízení vlády č.312/2005 Sb. In: *Sbírka zákonů ČR*. Praha, ČR: Úřad pro technickou normalizaci, 10. 04. 2002
- [51] Česká Republika. Nařízení vlády č. 190/2002 Sb.: kterým se stanoví technické požadavky na stavební výrobky označované CE. In: *Sbírka zákonů ČR*. Praha, ČR: Úřad pro technickou normalizaci, 10. 04. 2002.
- [52] LOKAJ, Antonín a Iveta SKOTNICOVÁ. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce: I. a II. díl*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 309 s. ISBN 978-80-7204-732-1.
- [53] HLAVSA, Petr et al. *Tloušťka stěny ve vztahu k ploše budovy*, In Structura 2012. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, s. 238 - 243, ISBN 978-80-248-2879-4.
- [54] KOZÁKOVÁ Markéta a Darja KUBEČKOVÁ. *Význam změn tvaru objektu na tepelných ztrátách objektu individuální výstavby*, In Structura 2012. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, s. 288 - 293, ISBN 978-80-248-2879-4.
- [55] ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda (730558)*. 1. 2. 2009. Praha, ČR: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009

## 13 PUBLIKAČNÍ ČINNOST



### Zahraniční konference

01. Agel, P., Labudek, J. *Nová konstrukční soustava pro stavby na bázi dřeva s foukanou izolací*, In Dřevostavby 2011 - IV. Vedecká konference s mezinárodní účastí, Boboty - Slovakia, 2011, ŽU v Žiline, ISBN 978-80-970171-9-4

### Mezinárodní konference

01. Labudek, J., Oravec, P. *Energy solar wall in low-energy apartment house*, Budovy a prostředí 2012 - 7. mezinárodní konference, Brno, VUT Brno, s. 267-270, ISBN 978-80-214-4600-7

### Tuzemské konference s mezinárodní účastí

01. Oravec, P., Teslík, J., Zeman, K. a Labudek, J. *Zjišťování tepelně izolačních vlastností izolačních dvojskel*. In Závěrečná konference projektu CZ-PL. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, ISBN X978-80-248-2224-2.
02. Labudek, J., Martiník, L. *Aerogel jako progresivní stavební materiál*, CzechSTAV 2011. Hradec Králové: MAGNANIMITAS1 1. vyd. 2011. ISBN 978-80-904877-5-8, ETTN 040-11-11009-11-1.
03. Agel, P., Labudek, J. *Dřevěná konstrukce pro pasivní domy s foukanou izolací*, CzechSTAV 2011. Hradec Králové: MAGNANIMITAS1 1. vyd. 2011. ISBN 978-80-904877-5-8, ETTN 040-11-11009-11-1.
04. Černíková, M., Labudek, J., Martiník, L. a Michnová, L. *Solární záření a stabilita interiérů budovy*, CzechSTAV 2011. Hradec Králové: MAGNANIMITAS1 1. vyd. 2011. ISBN 978-80-904877-5-8, ETTN 040-11-11009-11-1.
05. Michnová, L., Labudek, J. *Násobnost zasklení a jeho vliv na vnitřní osvětlení*, CzechSTAV 2011. Hradec Králové: MAGNANIMITAS1 1. vyd. 2011. ISBN 978-80-904877-5-8, ETTN 040-11-11009-11-1.
06. Černíková, M., Labudek, J., Martiník, L. a Michnová, L. *Mikroklima v závislosti na solárním záření*. In Structura 2011. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, ISBN 978-80-248-2521-2.
07. Černíková, M., Hrubá, B., Labudek, J., Oravec, P. a Bad'urová, S. *Srovnávací měření průvzdušnosti obálky budovy pasivního domu*. In Structura 2011. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, ISBN 978-80-248-2521-2.

08. Labudek, J., Martiník, L., *Aerogel - Materiál budoucnosti pro stavební inženýrství*. In Structura 2011. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, ISBN 978-80-248-2521
09. Labudek, J., *Energetická konstrukce aplikovaná v bytovém domě*, Sborník konference Progress 2012, Ostrava 2012, ISBN 978-80-248-2666-0.
10. Labudek, J., Galas, O., et al. *Aerogel - Akumulace tepla do podzemního zásobníku*. In Structura 2012. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, ISBN 978-80-248-2879-4.

#### Tuzemské konference

01. Labudek, J., *Solární stěna v nízkoenergetickém bytovém domě*, JUNIORSTAV 2011 Sborník anotací, Fakulta stavební VUT v Brně, Brno, 2011, ISBN 978-80-214-4232-0-2.
02. Labudek, J., Agel, P. *Konstrukce na bázi dřeva pro pasivní domy s výplňovými izolacemi*, JUNIORSTAV 2012 Sborník anotací, Fakulta stavební VUT v Brně, Brno, 2012, ISBN 978-80-214-4393-8.
03. Martiník, L., Galas, O., Labudek, J., Michnová, L., *Krbová kamna - primární zdroj tepla s vazbou na solární kolektory v domech s nízkou spotřebou tepla*, Sborník Kamnářské konference 2012, Ostrava 2012, ISBN 978-80-260-2382-1.

#### Publikace článků v domácích časopisech

01. Labudek J. *Příklad minimalizace energetické náročnosti*, STAVITEL 09/2008, s. 14-15, ISSN 1210-4825.,
02. Labudek J. *Nízkoenergetický bytový dům se solární stěnou*, STAVITEL 10/2009, s. 14-15, ISSN 1210-4825.,
03. Labudek J. *Solární stěna*. INFORMACE ČSSI, ročník XVI., 1/2010, ISSN 1213-4112
04. Labudek, J., Martiník, L. *Využití aerogelu v moderním stavitelství*, Moderní stavební materiály a jejich využití, Ostrava, 2011, ISBN 978-80-248-2497-0
05. Labudek, J., Martiník, L. *Aerogel jako tepelně izolační materiál*, Materiály pro stavbu, 01/2012, s. 32-36, ISSN 1213-0311.
06. Labudek, J., Wünsche, M. *Konstrukční styk podlahy a stěny z tepelně technického hlediska*, Materiály pro stavbu, 08/2012, s. 58-61, ISSN 1213-0311.
07. Labudek, J., Agel, P. Teslík, J. *Prolamovaný nosník pro obvodové pláště s výplňovými izolacemi*, Střechy, fasády, izolace, 11/2012, s. 14-16, ISSN 1212-0111.

## Ostatní publikace

01. Skotnicova, I., Labudek, J. *Stavební tepelná technika I, Studijní texty pro cvičení*, nakladatelství CERM, 2011, ISBN 978-80-7204-767-3
02. Labudek, J., Michnová, L., Martiník, L., Černíková, M. *Microclimate depending on solar radiation*, GRANT Journal č. 01/01, ISSN 1805-062X, 1805-0638 (online), ETTN 072-11-00002-09-4.
03. Labudek, J., Michnová, L. *Empirický nástroj pro předběžný návrh potřebné plochy okna na splnění normových požadavků pro vnitřní osvětlení obytných místností*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 2010, roč. 11, č. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2011, s. 85-92. ISSN 1213-1962.
04. Labudek, J., Martiník, L. *Aerogel - materiál budoucnosti pro stavební inženýrství*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 2011, roč. 11, č. 2. Ostrava: VŠB-TUO, 2011, s. 297-304. ISSN 1213-1962.
05. Černíková, M., Labudek, J., Martiník, L., Michnová, L. *Mikroklima požárního schodiště v závislosti na solárním záření*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 2011, roč. 11, č. 2. Ostrava: VŠB-TUO, 2011, s. 297-304. ISSN 1213-1962.

## Věda a výzkum

01. Labudek, J., Agel, P. Víceúčelový dřevěný nosný prvek pro stavby zateplené foukanou izolací. Užitený vzor zapsaný na Úřadu průmyslového vlastnictví pod číslem 22209, dne 16. 05. 2011,
02. Labudek, J., Oravec, P. Konstrukční řešení akumulční stěny. Užitený vzor zapsaný na Úřadu průmyslového vlastnictví pod číslem 23535, dne 15.12.2011,
03. Labudek, J., Agel, P. Víceúčelový ocelový nosný prvek pro stavby zateplené foukanou izolací. Užitený vzor zapsaný na Úřadu průmyslového vlastnictví pod číslem 23446, dne 27. 02. 2012,
04. Labudek, J., Agel, P. Ověřená technologie dne 5. 11. 2012 s názvem „Konstrukční systém na bázi dřeva určený pro stavby zateplené foukanou izolací“ s evidenčním číslem 042/05-11-2012\_OT.

## 14 PŘÍLOHY

### 14.1 Deklarované tepelné vodivosti celulózy

#### 14.1.1 Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2007

Číslo vzorku	Měsíc/rok	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m.K]
1	9/2007	45	0,0359
2		50	0,0388
3		62	0,0333
4	10/2007	42	0,0389
5		52	0,0369
6		60	0,0370
7	11/2007	45	0,0370
8		56	0,0371
9		60	0,0372
10	12/2007	45	0,0363
11		54	0,0374
12		61	0,0372

#### 14.1.2 Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2008

Číslo vzorku	Měsíc/rok	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m.K]
1	1/2008	47	0,0372
2		51	0,0343
3		60	0,0376
4	2/2008	47	0,0373
5		52	0,0367
6		66	0,0371
7	3/2008	37	0,0389
8		50	0,0383
9		62	0,0369
10	4/2008	41	0,0368
11		49	0,0354
12		60	0,0372
13	5/2008	41	0,0364
14		49	0,0383
15		64	0,0388
16	6/2008	45	0,0350
17		49	0,0390
18		61	0,0358
19	7/2008	45	0,0358
20		50	0,0355
21		59	0,0369
22	8/2008	43	0,0368
23		49	0,0369
24		62	0,0364
25	9/2008	43	0,0351
26		50	0,0360



27		61	0,0375
28	10/2008	44	0,0361
29		51	0,0379
30		62	0,0374
31	11/2008	41	0,0353
32		51	0,0351
33		62	0,0356
34	12/2008	42	0,035
35		49	0,0372
36		62	0,0369

### 14.1.3 Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2009

Číslo vzorku	Měsíc/rok	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m.K]
1	1/2009	48,4	0,0363
2		44,6	0,0358
3		62	0,0354
4	2/2009	43,8	0,0356
5		49,9	0,0359
6		61,7	0,0349
7	3/2009	49,7	0,0358
8		44,1	0,0356
9		64,0	0,0372
10	4/2009	42,8	0,0384
11		50,3	0,0356
12		63,5	0,0369
13	5/2009	45,7	0,0354
14		52,8	0,0352
15		66,1	0,0366
16	6/2009	45,7	0,0370
17		51,4	0,0350
18		40,7	0,0366
19	7/2009	46,5	0,0351
20		53,5	0,0375
21		65,3	0,0368
22	8/2009	44,6	0,0363
23		52,3	0,0360
24		66,0	0,0370
25	9/2009	40,9	0,0325
26		53,1	0,0354
27		64,1	0,0357
28	10/2009	40,8	0,0352
29		49,1	0,0349
30		61,7	0,0351
31	11/2009	42,8	0,0339
32		47,7	0,0341
33		60,0	0,0350
34	12/2009	44,7	0,0356
35		49,1	0,0357
36		62,2	0,0360

**14.1.4 Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2010**

Číslo vzorku	Měsíc/rok	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m.K]
1	1/2010	43,7	0,0352
2		54,8	0,0367
3		65,9	0,0369
4	2/2010	45,5	0,0351
5		52,1	0,0363
6		62,7	0,0364
7	3/2010	40,6	0,0343
8		52,9	0,0346
9		65,1	0,0358
10	4/2010	44,5	0,0346
11		54,2	0,0358
12		62,4	0,0359
13	5/2010	44,8	0,0364
14		47,2	0,0347
15		62,6	0,0360
16	6/2010	42,1	0,0352
17		53,8	0,0360
18		62,4	0,0353
19	7/2010	42,4	0,0351
20		51,8	0,0364
21		62,9	0,0356
22	8/2010	44,9	0,0347
23		50,8	0,0351
24		62,6	0,0344
25	9/2010	44,6	0,0343
26		48,6	0,0341
27		66,2	0,0343
28	10/2010	46,1	0,0348
29		52,6	0,0355
30		63,5	0,0347
31		83,6	0,0359
32		83,8	0,0358
33	11/2010	38,5	0,0362
34		51,0	0,0362
35		59,3	0,0353
36		66,3	0,0347
37		77,3	0,0359
38		82,2	0,0347
39	12/2010	45,0	0,0358
40		52,3	0,0349
41		63,5	0,0351
42		80,8	0,0356
43		83,6	0,0358
44		83,8	0,0347

## 14.1.5 Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2011

Číslo vzorku	Měsíc/rok	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m.K]
1	1/2011	36,0	0,0369
2		51,7	0,0365
3		73,3	0,0350
4		76,1	0,0360
5	2/2011	30,6	0,0370
6		51,6	0,0363
7		58,3	0,0360
8	3/2011	30,4	0,0369
9		50,1	0,0362
10		58,2	0,0365
11	4/2011	30,9	0,0368
12		51,5	0,0361
13		61,6	0,0363
14	5/2011	30,8	0,0370
15		51,5	0,0363
16		58,2	0,0362
17	6/2011	30,8	0,0369
18		51,7	0,0357
19		58,2	0,0369
20	7/2011	30,5	0,0371
21		49,4	0,0361
22		69,3	0,0372
23	8/2011	30,0	0,037
24		43,3	0,0354
25		60,9	0,0362
26	9/2011	31,5	0,0372
27		45,1	0,0361
28		59,4	0,0351
29	10/2011	30,9	0,0370
30		45,8	0,0353
31		60,0	0,0361
32	11/2011	32,2	0,0371
33		40,7	0,0360
34		62,4	0,0358
35	12/2011	30,2	0,0370
36		45,2	0,0354
37		61,0	0,0352

**14.1.6 Součinitel tepelné vodivosti celulózy rok 2012**

Číslo vzorku	Měsíc/rok	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ [W/m.K]
1	1/2012	30,4	0,0367
2		44,5	0,0365
3		63,5	0,0363
4	2/2012	31,6	0,0368
5		49,3	0,0350
6		60,4	0,0362
7	3/2012	31,5	0,0369
8		48,0	0,0355
9		59,5	0,0367
10	4/2012	33,2	0,0370
11		48,5	0,0353
12		60,3	0,0364
13	5/2012	34,5	0,0370
14		47,1	0,0359
15		61,0	0,0362
16	6/2012	33,7	0,0368
17		47,7	0,0355
18		59,6	0,0366
19	7/2012	32,1	0,0370
20		46,9	0,0358
21		60,4	0,0364

**14.2 Výstupní protokoly z 1D výpočtů pro obvodové pláště**

Zkrácené výstupní protokoly zobrazují výsledky dosažené pro obvodový plášť základní skladby (viz. výše) s různou šířkou izolace Climatizer Plus. Doložené výsledky z [45] a jsou zdrojem dat např. do *Tab. 9, Tab. 10, Tab. 11, Tab. 21*.

- Tloušťka tepelné izolace 150 mm (Climatizer Plus)**

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.0300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 3.64 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.263 W/m<sup>2</sup>K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 18.05 °C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rs,i,p</sub> : 0.936

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[°C]:	18.1	17.0	8.2	1.4	-7.4	-14.6	-14.6

## DISERTAČNÍ PRÁCE

p [Pa]:	1309	562	496	463	398	198	138
p,sat [Pa]:	2070	1939	1085	678	326	171	170

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/m2s]
1	0.1650	0.2050	1.055E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.081 kg/m2,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 16.319 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

STOP, Teplo 2011

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

### Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{im}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,030	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

### I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek:  $f_{Rsi}, N = f_{Rsi}, cr = 0,745$

Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi}, m = 0,936$

Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi}, cr$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota  $f_{Rsi}, m$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnost plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

### II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek:  $U, N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota:  $U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U, N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

### III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2,rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m2,rok (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m2,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0815 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 16,3190 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

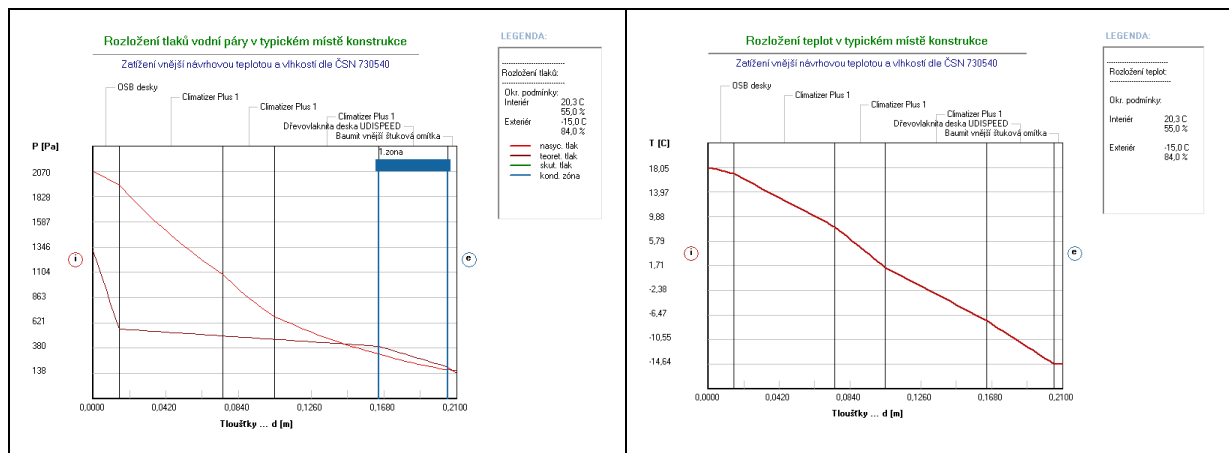
Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Teplo 2011, (c) 2011 Svoboda Software

## Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:

OSB desky  $\mu = 200$ :

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.0300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry  $G_d$  : 6.838E-0008 kg/m2s

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

## III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_c$ , a musí být nižší než 0,1 kg/m2.rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V kci nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

## • Tloušťka tepelné izolace 200 mm (Climatizer Plus)

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.0800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

## TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 4.89 m2K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.198 W/m2K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{s,p}$  : 18.60 °CTeplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.952

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

## DISERTAČNÍ PRÁCE

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[C]:	18.6	17.8	11.1	-2.5	-9.2	-14.7	-14.7
p [Pa]:	1309	595	533	449	386	196	138
p,sat [Pa]:	2141	2038	1321	495	278	170	169

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m2s]
1	0.2150	0.2431	1.149E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.111 kg/m2,rokMnožství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 11.204 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Teplo 2011, (c) 2011 Svoboda Software

**VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)**Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,080	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,745$ Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi,m} = 0,952$ Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi,cr}$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota  $f_{Rsi,m}$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $U_N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ Vypočtená hodnota:  $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  $U < U_N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2,rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m2,rok (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m2,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

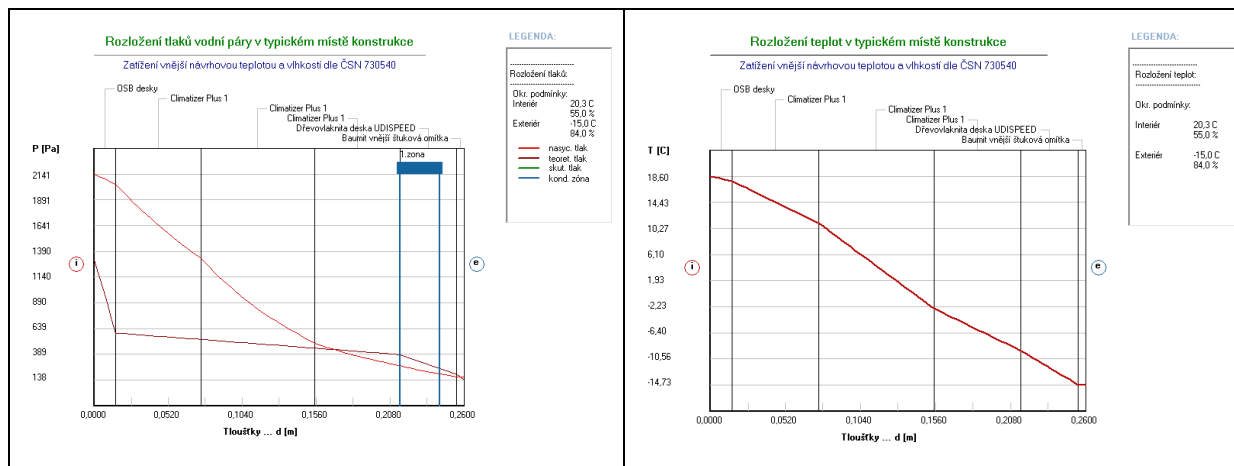
Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,1115 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 11,2041 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ 

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

 $M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN. $M_{c,a} > M_{ev,a}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

Teplo 2011, (c) 2011 Svoboda Software

## Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:

OSB desky  $\mu = 200$ :

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.0800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry  $G_d$  : 6.730E-0008 kg/m<sup>2</sup>s

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

## III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>.rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V kci nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

## • Tloušťka tepelné izolace 250 mm (Climatizer Plus)

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.1300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

## TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 6.14 m<sup>2</sup>K/WSoučinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.159 W/m<sup>2</sup>K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si}, p$  : 18.93 °CTeplotní faktor v návrhových podmínkách  $f, R_{si}, p$  : 0.961



Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl. [C]:	18.9	18.3	12.9	-5.0	-10.4	-14.7	-14.8
p [Pa]:	1309	626	566	435	375	193	138
p,sat [Pa]:	2186	2101	1486	403	251	169	168

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m2s]
1	0.2650	0.2799	1.217E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.132 kg/m2,rokMnožství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 9.653 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -5.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

**VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)**Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C			
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C			
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C			
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C			
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C			
Relativní vlhkost v interiéru $RH_i$ :	50,0 % (+5,0%)			
Skladba konstrukce				
Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,130	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,745$ Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi,m} = 0,961$ Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi,cr}$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota  $f_{Rsi,m}$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $U_N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ Vypočtená hodnota:  $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  $U < U_N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2,rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m2,rok (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m2,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

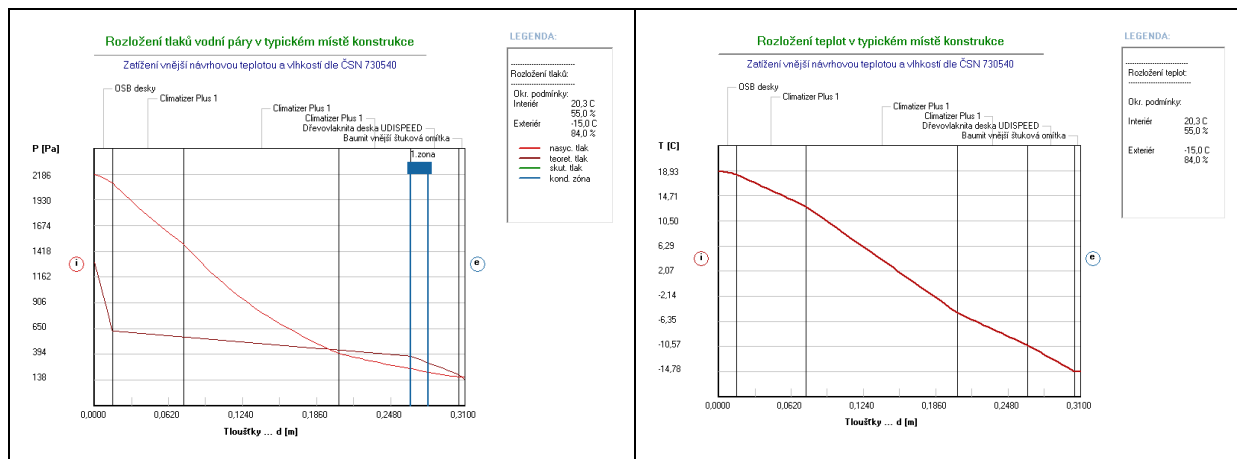
Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,1316 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 9,6529 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ 

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

 $M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN. $M_{c,a} > M_{ev,a}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

Teplo 2011, (c) 2011 Svoboda Software

## Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:



OSB desky  $\mu = 200$ :

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.1300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry  $G_d$  : 6.625E-0008 kg/m2s

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2.rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V kci nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

## • Tloušťka tepelné izolace 300 mm (Climatizer Plus)

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.1800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce  $R$  : 7.39 m2K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$  : 0.132 W/m2K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si,p}$  : 19.15 °C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.967

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl. [C]:	19.2	18.6	14.1	-6.6	-11.1	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1309	654	596	423	366	191	138
p,sat [Pa]:	2217	2145	1608	350	235	168	168

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m2s]
1	0.3150	0.3193	1.250E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.168 kg/m2,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 9.057 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

### Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

### Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,180	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

### I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek:  $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,745$

Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi,m} = 0,967$

Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi,cr}$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota  $f_{Rsi,m}$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

### II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek:  $U_{N} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota:  $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U_N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

### III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2,rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m2,rok (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m2,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,1680 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

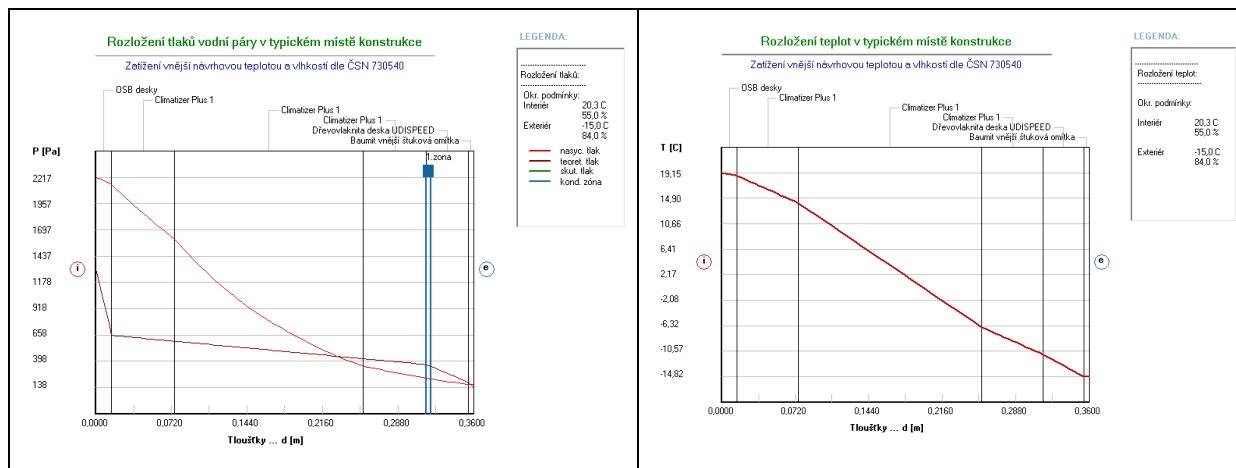
Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 9,0573 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} > M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

## Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:



OSB desky  $\mu = 200$ :

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.1800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry  $G_d$  : 6.524E-0008 kg/m2s

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

### III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2.rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V kci nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

## • Tloušťka tepelné izolace 350 mm (Climatizer Plus)

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.2300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Teplotní odpor konstrukce  $R$  : 8.64 m2K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$  : 0.114 W/m2K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{s,p}$  : 19.31 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.972

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

## DISERTAČNÍ PRÁCE

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl. [C]:	19.3	18.9	15.0	-7.8	-11.7	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1309	680	624	412	357	189	138
p,sat [Pa]:	2239	2176	1701	316	224	168	167

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m2s]
1	0.3650	0.3650	1.258E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.193 kg/m2,rokMnožství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 8.761 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,230	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,745$ Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi,m} = 0,972$ Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi,cr}$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota  $f_{Rsi,m}$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $U_{i,N} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ Vypočtená hodnota:  $U = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$  $U < U_{i,N}$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2,rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m2,rok (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m2,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

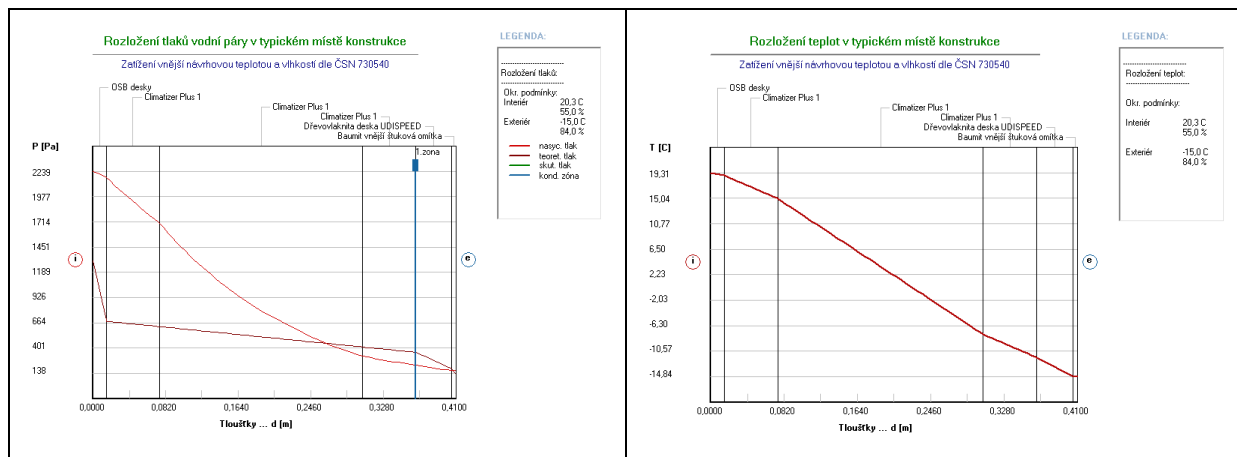
Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,1928 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,7607 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ 

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

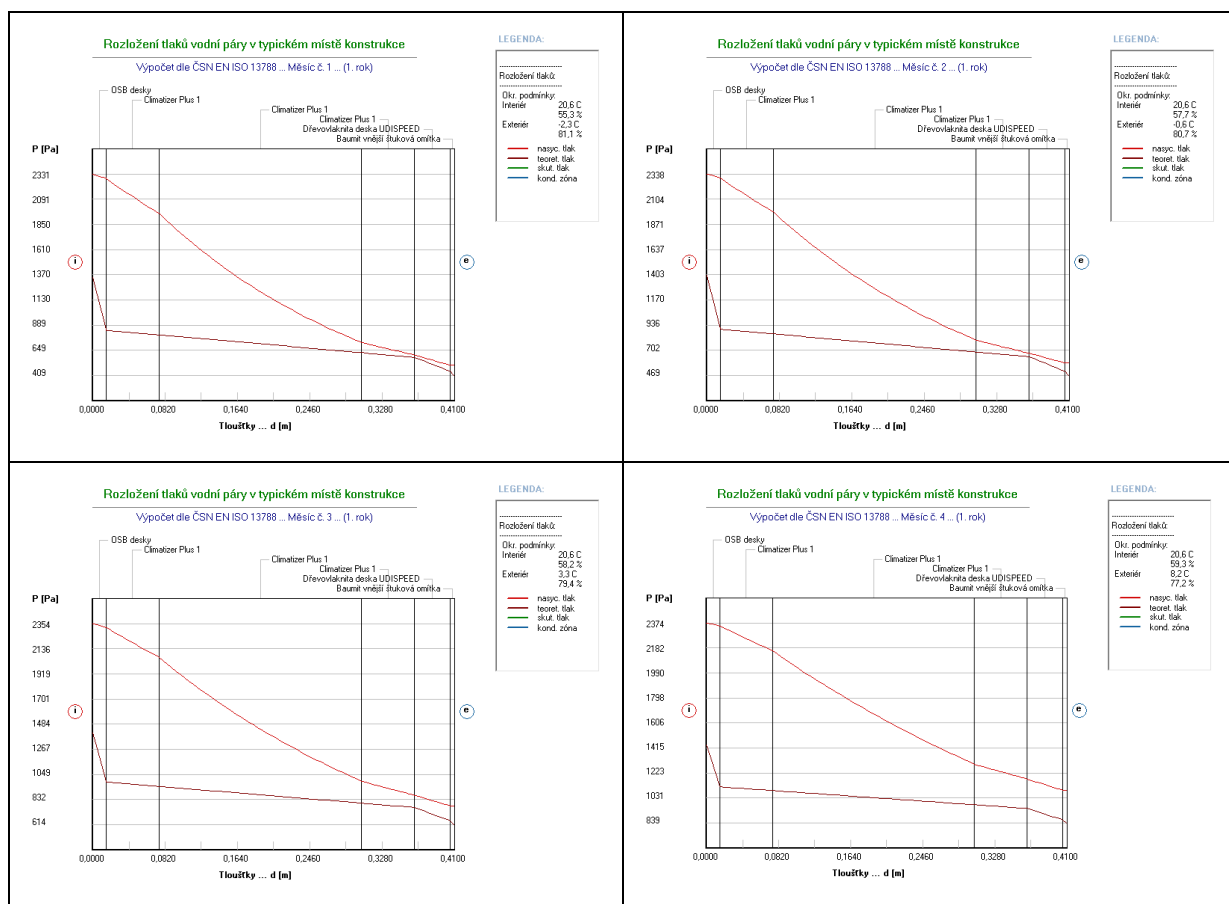
 $M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN. $M_{c,a} > M_{ev,a}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

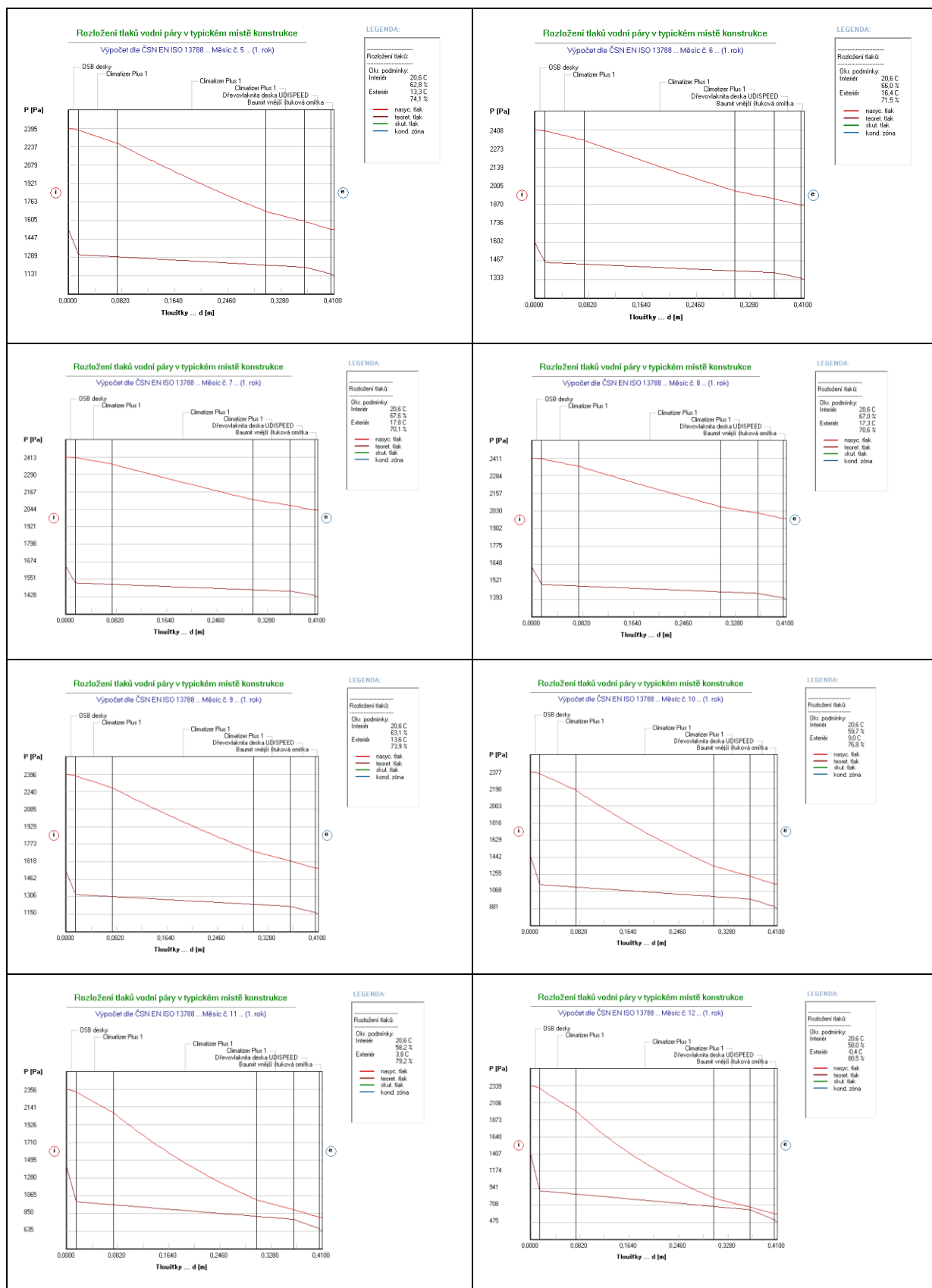
Teplo 2011, (c) 2011 Svoboda Software

## Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:



## Grafické zobrazení celoroční bilance v měsíčním kroku dle ČSN EN ISO 13788:





OSB desky  $\mu = 200$ :

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.2300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry  $G_d$  : 6.425E-0008 kg/m2s

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

### III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2.rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V kci nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

## • Tloušťka tepelné izolace 400 mm (Climatizer Plus)

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.2800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce  $R$  : 9.89 m2K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$  : 0.099 W/m2K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{s,p}$  : 19.43 °C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.975

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[°C]:	19.4	19.0	15.6	-8.7	-12.1	-14.8	-14.9
p [Pa]:	1309	704	650	402	348	187	138
p,sat [Pa]:	2256	2201	1774	292	215	167	167

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství
číslo	levá [m] pravá	vodní páry [kg/m2s]
1	0.4150 0.4150	1.245E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.205 kg/m2,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 8.540 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 °C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)



Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

## Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,280	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,745$ Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi,m} = 0,975$ Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi,cr}$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota  $f_{Rsi,m}$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $U_{N} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ Vypočtená hodnota:  $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  $U < U_N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než  $0,1 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ , nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí:  $0,341 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$  (materiál: Climatizer Plus 1).Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu:  $0,100 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ 

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

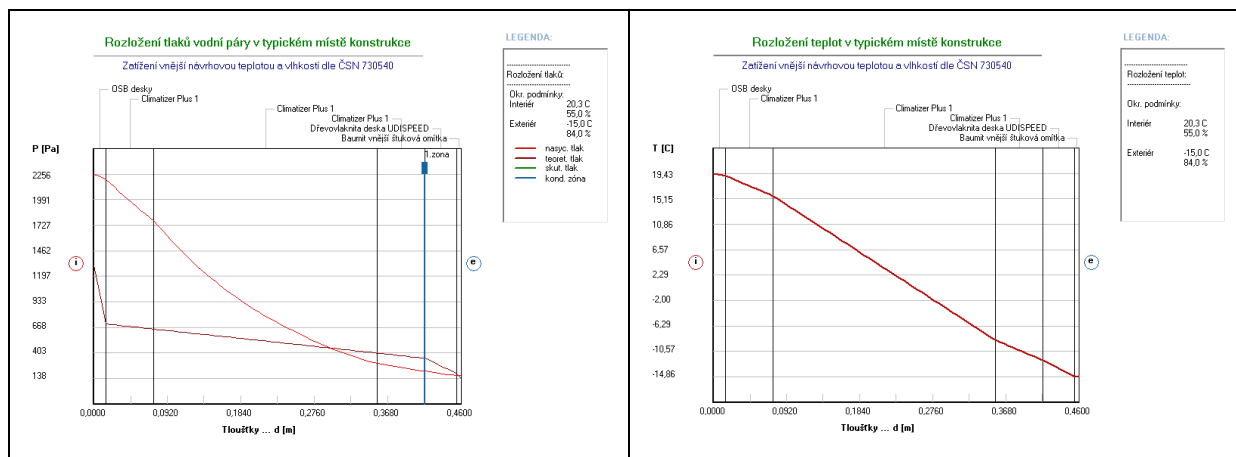
Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,2048 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,5401 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ 

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

 $M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN. $M_{c,a} > M_{ev,a}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

Teplu 2011, (c) 2011 Svoboda Software

## Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:



OSB desky  $\mu = 200$ :

**Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.2800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

**Celoroční bilance vlhkosti:**

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.002 kg/m2,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 8.522 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:**

**Roční cyklus č. 1**

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2007)

### III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2,rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).
- Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,170 kg/m2,rok (materiál: Climatizer Plus 1).
- Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m2,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.  
 Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0024$  kg/m2,rok  
 Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,5215$  kg/m2,rok

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

## • Tloušťka tepelné izolace 450 mm (Climatizer Plus)

**Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.3300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

**Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Tepelný odpor konstrukce R : 11.14 m2K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.088 W/m2K

**Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si,p}$  : 19.53 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.978

**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[C]:	19.5	19.2	16.1	-9.3	-12.4	-14.9	-14.9
p [Pa]:	1309	726	674	392	341	185	138
p,sat [Pa]:	2270	2220	1833	275	209	167	167

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna      Hranice kondenzační zóny      Kondenzující množství

## DISERTAČNÍ PRÁCE

číslo	levá [m]	pravá	vodní páry [kg/m2s]
1	0.4601	0.4650	1.222E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.209 kg/m2,rokMnožství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 8.370 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

## Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,330	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $f_{Rsi}, N = f_{Rsi}, cr = 0,745$ Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi}, m = 0,978$ Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi}, cr$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota  $f_{Rsi}, m$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)Požadavek:  $U, N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ Vypočtená hodnota:  $U = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$  $U < U, N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2,rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m2,rok (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m2,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

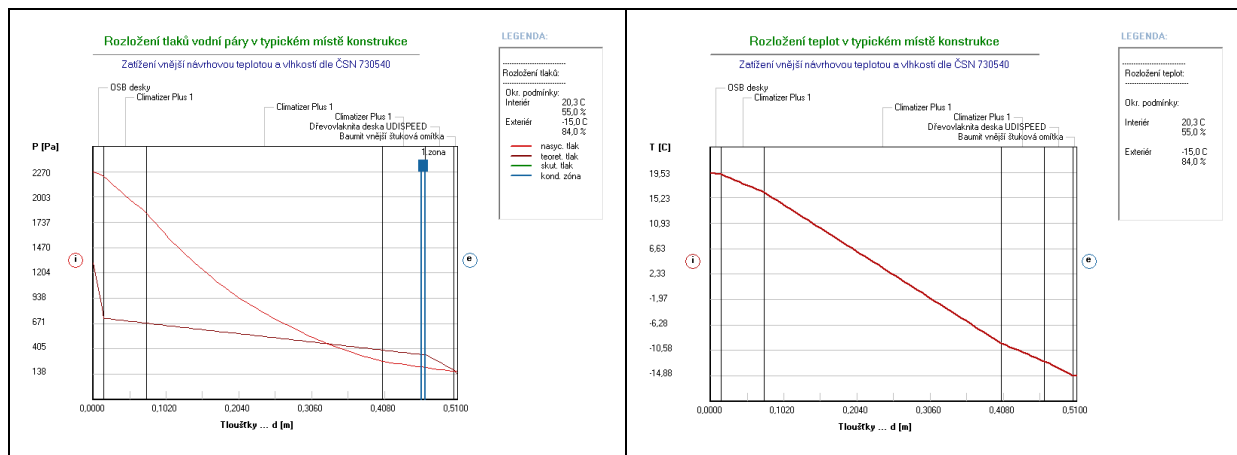
Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,2092 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$ Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,3698 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$ 

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

 $M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN. $M_{c,a} > M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

Teplo 2011, (c) 2011 Svoboda Software

## Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:

OSB desky  $\mu = 200$ :

## Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.3300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

## Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

## Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.005 kg/m<sup>2</sup>,rokMnožství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 8.359 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 °C.

## Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

## Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

## III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>.rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,170 kg/m<sup>2</sup>.rok  
(materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m<sup>2</sup>.rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0048$  kg/m<sup>2</sup>.rok

Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,3591$  kg/m<sup>2</sup>.rok

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

## • Tloušťka tepelné izolace 500 mm (Climatizer Plus)

## Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.3800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:Tepelný odpor konstrukce R : 12.39 m<sup>2</sup>K/WSoučinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.080 W/m<sup>2</sup>KTeplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.60 CTeplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rs,i,p</sub> : 0.980Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[C]:	19.6	19.3	16.5	-9.9	-12.6	-14.9	-14.9
p [Pa]:	1309	746	697	383	334	183	138
p,sat [Pa]:	2280	2235	1881	262	204	167	166

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m <sup>2</sup> s]
1	0.4886	0.5150	1.193E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:Množství zkondenzované vodní páry M<sub>c,a</sub>: 0.209 kg/m<sup>2</sup>,rokMnožství vypařitelné vodní páry M<sub>ev,a</sub>: 8.234 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

**VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)**Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T <sub>i</sub> :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota T <sub>iM</sub> :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota T <sub>ae</sub> :	-15,0 C
Teplota na vnější straně T <sub>e</sub> :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T <sub>ai</sub> :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru R <sub>Hi</sub> :	50,0 % (+5,0%)

Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,380	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)Požadavek: f<sub>Rs,i,N</sub> = f<sub>Rs,i,cr</sub> = 0,745Vypočtená průměrná hodnota: f<sub>Rs,i,m</sub> = 0,980Kritický teplotní faktor f<sub>Rs,i,cr</sub> byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota f<sub>Rs,i,m</sub> (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)Požadavek: U<sub>N</sub> = 0,30 W/m<sup>2</sup>KVypočtená hodnota: U = 0,08 W/m<sup>2</sup>KU < U<sub>N</sub> ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu M<sub>c,a</sub> musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>.rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m<sup>2</sup>.rok  
(materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m<sup>2</sup>,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,2089$  kg/m<sup>2</sup>,rok

Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,2344$  kg/m<sup>2</sup>,rok

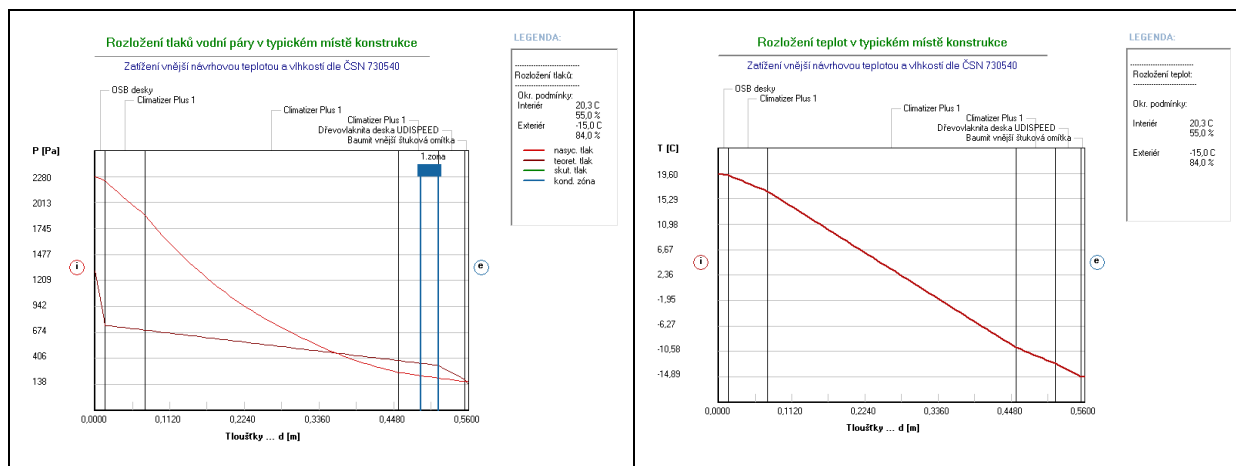
Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} > M_{ev,a}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

Teplu 2011, (c) 2011 Svoboda Software

## Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:



OSB desky  $\mu = 200$ :

### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.3800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

### Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

#### Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.006 kg/m<sup>2</sup>,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 8.230 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 °C.

### Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

#### Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2007)

### III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
- Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  - Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  - Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>,rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,170 kg/m<sup>2</sup>,rok (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m<sup>2</sup>,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0065$  kg/m<sup>2</sup>,rok

Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,2303$  kg/m<sup>2</sup>,rok

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Teplu 2011, (c) 2011 Svoboda Software

## • Tloušťka tepelné izolace 500 mm (Climatizer Plus)

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.4300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlnitá	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 13.64 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.072 W/m<sup>2</sup>K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.67 °C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rs,p</sub> : 0.982

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[°C]:	19.7	19.4	16.9	-10.4	-12.9	-14.9	-14.9
p [Pa]:	1309	766	718	375	327	182	138
p,sat [Pa]:	2289	2248	1922	251	201	167	166

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m <sup>2</sup> s]
1	0.5123	0.5650	1.163E-0007

Množství zkondenzované vodní páry M<sub>c,a</sub>: 0.206 kg/m<sup>2</sup>,rok

Množství vypařitelné vodní páry M<sub>ev,a</sub>: 8.124 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 °C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

### Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T <sub>i</sub> :	20,0 °C
Převažující návrhová vnitřní teplota T <sub>iM</sub> :	20,0 °C
Návrhová venkovní teplota T <sub>ae</sub> :	-15,0 °C
Teplota na vnější straně T <sub>e</sub> :	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T <sub>ai</sub> :	20,3 °C
Relativní vlhkost v interiéru RH <sub>i</sub> :	50,0 % (+5,0%)

Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,430	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovlnitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

### I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek: f<sub>Rs,i,N</sub> = f<sub>Rs,i,cr</sub> = 0,745

Vypočtená průměrná hodnota: f<sub>Rs,i,m</sub> = 0,982

Kritický teplotní faktor f<sub>Rs,i,cr</sub> byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota f<sub>Rs,i,m</sub> (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

### II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek: U<sub>N</sub> = 0,30 W/m<sup>2</sup>K

Vypočtená hodnota: U = 0,07 W/m<sup>2</sup>K

U < U<sub>N</sub> ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

**III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než  $0,1 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ , nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí:  $0,341 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$  (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu:  $0,100 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,2059 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

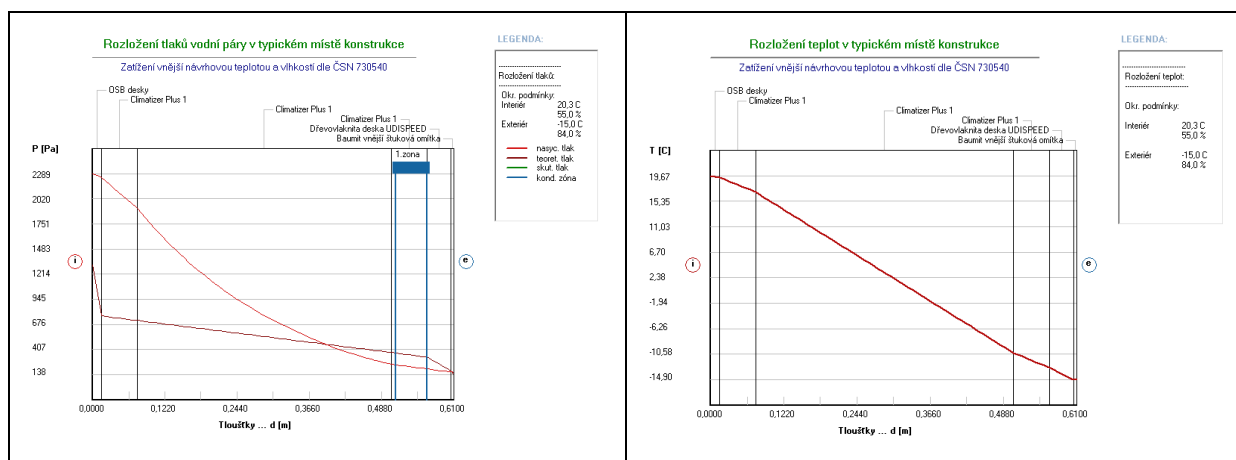
Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,1242 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a} \dots$  2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} > M_{ev,a} \dots$  3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

Teplota 2011, (c) 2011 Svoboda Software

**Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:**

OSB desky  $\mu = 200$ :

**Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0,0150	0,1300	1700,0	650,0	200,0	0.0000
2	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
3	Climatizer Plu	0,4300	0,0400	1993,9	39,7	1,1	0.0000
4	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0,0400	0,0500	1400,0	240,0	5,0	0.0000
6	Baumit vnější	0,0050	0,8000	850,0	1800,0	12,0	0.0000

**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

**Celoroční bilance vlhkosti:**

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ :  $0.008 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ :  $8.126 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než  $-10.0 \text{ °C}$ .

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:****Roční cyklus č. 1**

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

**VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)****III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než  $0,1 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ , nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí:  $0,341 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$  (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu:  $0,100 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.



Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0078 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$ Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,1257 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$ 

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

 $M_{c,a} < M_{ev,a} \dots$  2. POŽADAVEK JE SPLNĚN. $M_{c,a} < M_{c,N} \dots$  3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

## • Tloušťka tepelné izolace 600 mm (Climatizer Plus)

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.4800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 14.89 m<sup>2</sup>K/WSoučinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.066 W/m<sup>2</sup>K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si,p}$  : 19.72 CTeplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.984

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[C]:	19.7	19.5	17.2	-10.7	-13.0	-14.9	-14.9
p [Pa]:	1309	783	737	367	321	180	138
p,sat [Pa]:	2297	2259	1957	243	197	166	166

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna Hranice kondenzační zóny Kondenzující množství

číslo levá [m] pravá vodní páry [kg/m<sup>2</sup>s]

1 0.5550 0.6150 1.133E-0007

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.201 kg/m<sup>2</sup>,rokMnožství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 8.033 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

### Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $RH_i$ :	50,0 % (+5,0%)

### Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,480	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovlaknita deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

### I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek:  $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,745$ Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi,m} = 0,984$ Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi,cr}$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

## DISERTAČNÍ PRÁCE

Průměrná hodnota  $fR_{si,m}$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

**II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**

Požadavek:  $U, N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota:  $U = 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U, N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

**III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než  $0,1 \text{ kg/m}^2\text{rok}$ , nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí:  $0,341 \text{ kg/m}^2\text{rok}$  (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu:  $0,100 \text{ kg/m}^2\text{rok}$

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,2011 \text{ kg/m}^2\text{rok}$

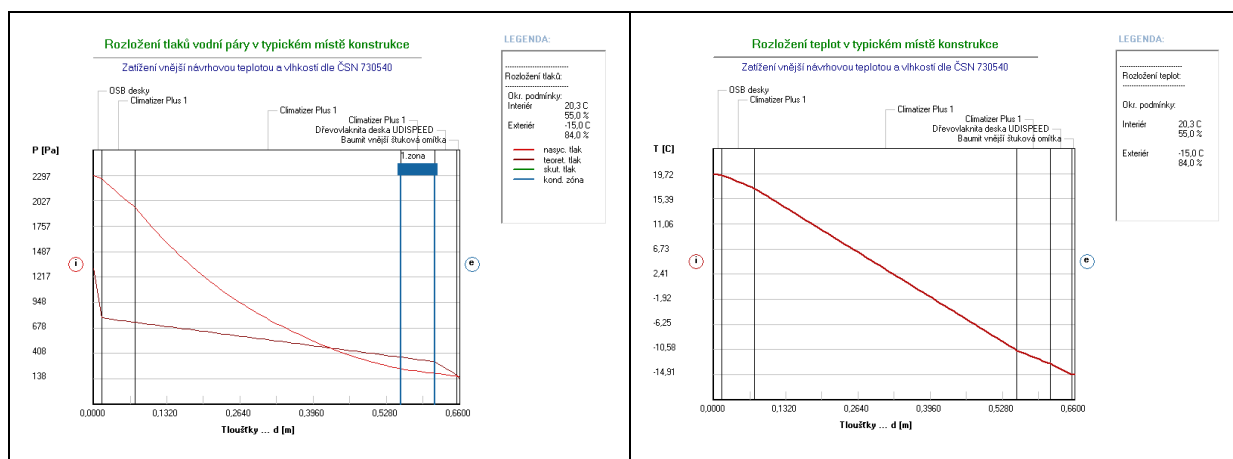
Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,0329 \text{ kg/m}^2\text{rok}$

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} > M_{ev,a}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

Teplota 2011, (c) 2011 Svoboda Software

**Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:**

OSB desky  $\mu = 200$ :

**Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.4800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

**Dífuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

**Celoroční bilance vlhkosti:**

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ :  $0.009 \text{ kg/m}^2\text{rok}$

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ :  $8.039 \text{ kg/m}^2\text{rok}$

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než  $-10.0 \text{ °C}$ .

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:****Roční cyklus č. 1**

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

## III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

Požadavky: 1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.  
 2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.  
 3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než  $0,1 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ ,  
 nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).  
 Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí:  $0,170 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$   
 (materiál: Climatizer Plus 1).  
 Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu:  $0,100 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$   
 Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.  
 Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0088 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$   
 Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 8,0393 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$   
 Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.  
 $M_{c,a} < M_{ev,a} \dots$  2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.  
 $M_{c,a} < M_{c,N} \dots$  3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

## • Tloušťka tepelné izolace 650 mm (Climatizer Plus)

## Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.5300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

## TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 16.14 m2K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.061 W/m2K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si,p}$  : 19.76 CTeplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.985

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[C]:	19.8	19.5	17.4	-11.1	-13.2	-14.9	-14.9
p [Pa]:	1309	800	755	360	315	179	138
p,sat [Pa]:	2303	2268	1986	236	195	166	166

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství
číslo	levá [m] pravá	vodní páry [kg/m2s]
1	0.6050 0.6650	1.101E-0007

## Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.195 kg/m2,rokMnožství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 7.956 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

## Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

## Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

## Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0

## DISERTAČNÍ PRÁCE

2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,530	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovlaknita deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

**I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**Požadavek:  $f_{Rsi}, N = f_{Rsi}, cr = 0,745$ Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi}, m = 0,985$ Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi}, cr$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota  $f_{Rsi}, m$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

**II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**Požadavek:  $U, N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ Vypočtená hodnota:  $U = 0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$  $U < U, N \dots$  POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

**III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než  $0,1 \text{ kg/m}^2\text{rok}$ , nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí:  $0,341 \text{ kg/m}^2\text{rok}$  (materiál: Climatizer Plus 1).Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu:  $0,100 \text{ kg/m}^2\text{rok}$ 

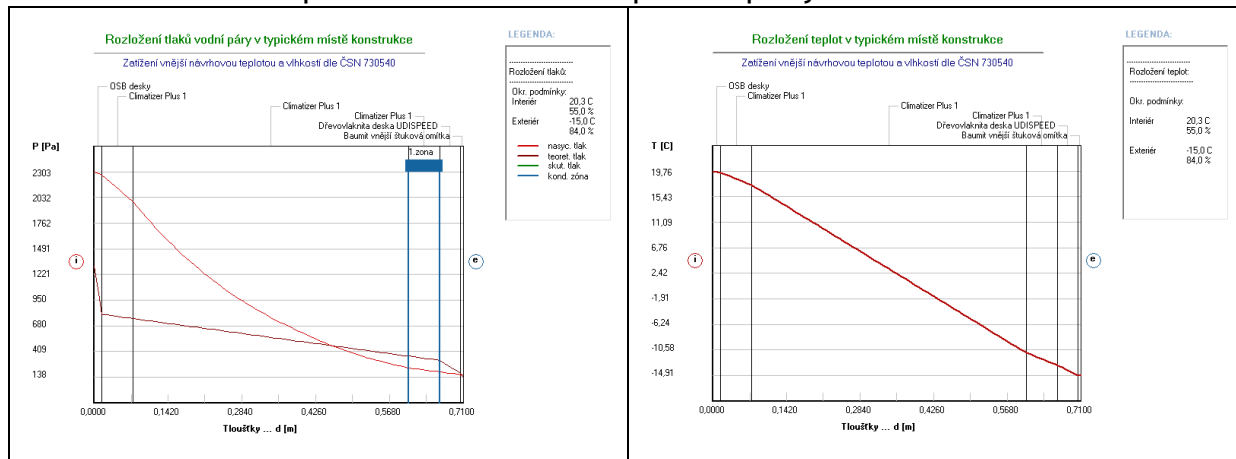
Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,1950 \text{ kg/m}^2\text{rok}$ Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 7,9560 \text{ kg/m}^2\text{rok}$ 

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

 $M_{c,a} < M_{ev,a} \dots$  2. POŽADAVEK JE SPLNĚN. $M_{c,a} > M_{c,N} \dots$  3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

Teplo 2011, (c) 2011 Svoboda Software

**Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:**OSB desky  $\mu = 200$ :**Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.5300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.010 kg/m<sup>2</sup>,rok  
 Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 7.967 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

**VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2007)**III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

Požadavky: 1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.  
 2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.  
 3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>.rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).  
 Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,170 kg/m<sup>2</sup>.rok (materiál: Climatizer Plus 1).  
 Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m<sup>2</sup>.rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.  
 Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0095$  kg/m<sup>2</sup>.rok  
 Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 7,9666$  kg/m<sup>2</sup>.rok

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

• **Tloušťka tepelné izolace 700 mm (Climatizer Plus)**Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	50.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.5800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 17.39 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.057 W/m<sup>2</sup>K

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si,p}$  : 19.80 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.986

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl. [C]:	19.8	19.6	17.6	-11.3	-13.3	-14.9	-14.9
p [Pa]:	1309	816	773	353	309	178	138
p,sat [Pa]:	2308	2276	2012	230	192	166	166

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství
číslo	levá [m]	pravá vodní páry [kg/m <sup>2</sup> s]

1	0.6550	0.7150	1.069E-0007
---	--------	--------	-------------

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.188 kg/m<sup>2</sup>.rok  
 Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 7.890 kg/m<sup>2</sup>.rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

## Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $RH_i$ :	50,0 % (+5,0%)

## Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	50,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,580	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

## I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek:  $f_{Rsi}, N = f_{Rsi}, cr = 0,745$ Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi}, m = 0,986$ Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi}, cr$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota  $f_{Rsi}, m$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

## II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek:  $U, N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ Vypočtená hodnota:  $U = 0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$  $U < U, N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

## III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>.rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m<sup>2</sup>.rok (materiál: Climatizer Plus 1).Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m<sup>2</sup>.rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

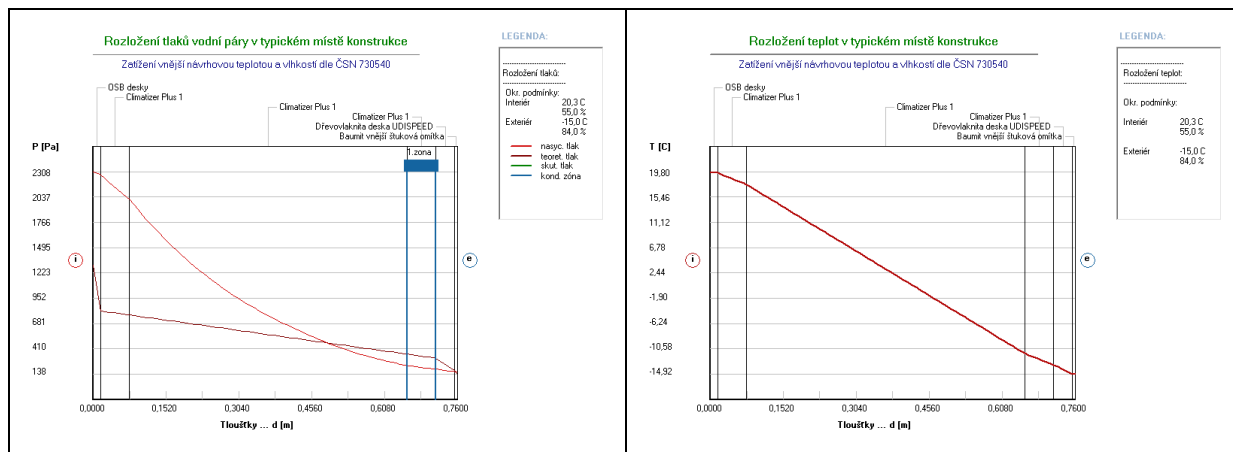
Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,1882 \text{ kg/m}^2\text{.rok}$ Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 7,8903 \text{ kg/m}^2\text{.rok}$ 

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

 $M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN. $M_{c,a} > M_{ev,a}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.

Teploty 2011, (c) 2011 Svoboda Software

## Grafické zobrazení průběhu tlaků vodních par a teploty dle ČSN 73 0540:



OSB desky  $\mu = 200$ :

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.5800	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlákna	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.010 kg/m2,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 7.905 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m2,rok, nebo 3% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,170 kg/m2,rok (materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m2,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0101$  kg/m2,rok

Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 7,9048$  kg/m2,rok

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

## 14.3 Výstupní protokoly z 1D výpočtů pro různé obvodové pláště

Zkrácené výstupní protokoly zobrazují výsledky dosažené pro další materiálové skladby obvodových plášťů s optimalizovaným složeným prvkem Pro porovnání výsledků je zvolena izolace Climatizer Plus tl. 350mm. Doložené výsledky z [45] a jsou zdrojem dat např. do Tab. 22

### • Skladba VELOX + Climatizer Plus + VELOX

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	Desky Velox WS	0,0250	0,1100	1580,0	570,0	13,7	0.0000
2	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
3	Climatizer Plu	0,2300	0,0400	1993,9	39,7	1,1	0.0000
4	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
5	Desky Velox WS	0,0250	0,1100	1580,0	570,0	13,7	0.0000
6	Baumit vnější	0,0050	0,8000	850,0	1800,0	12,0	0.0000

Okrajové podmínky výpočtu :

Teplný odpor při přestupu tepla v interiéru  $R_{si}$  : 0.13 m2K/W

dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot  $R_{si}$  : 0.25 m2K/W

Teplný odpor při přestupu tepla v exteriéru  $R_{se}$  : 0.04 m2K/W

dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot  $R_{se}$  : 0.04 m2K/W

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Teplný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Teplný odpor konstrukce  $R$  : 8.18 m2K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U$  : 0.120 W/m2K

**Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si,p}$  : 19.26 CTeplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.970**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

**Celoroční bilance vlhkosti:**Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 1.468 kg/m<sup>2</sup>,rokMnožství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 5.721 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 10.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:****Roční cyklus č. 1**

V konstrukci dochází během modelového roku ke kondenzaci.

**VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)****Rekapitulace vstupních dat**

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{im}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

**Skladba konstrukce**

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Desky Velox WS	0,025	0,110	13,7
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,230	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Desky Velox WS	0,025	0,110	13,7
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

**I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**Požadavek:  $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,745$ Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi,m} = 0,970$ Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi,cr}$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota  $f_{Rsi,m}$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

**II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**Požadavek:  $U_N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ Vypočtená hodnota:  $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$  **$U < U_N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.**

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

**III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>.rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí:

zóna č. 1: 0,341 kg/m<sup>2</sup>.rok (materiál: Climatizer Plus 1).Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m<sup>2</sup>.rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

V konstrukci dochází během modelového roku ke kondenzaci.

Kond.zóna č. 1: Max. množství akumul. vlhkosti  $M_{c,a} = 1,5016 \text{ kg/m}^2$ 

Na konci modelového roku je zóna suchá.

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

 **$M_{a,vysl} = 0 \text{ kg/m}^2$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.** **$M_{c,a} > M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK NENÍ SPLNĚN.**

Teplu 2011, (c) 2011 Svoboda Software

- **Skladba Fermacell VAPOR + Climatizer Plus + dřevovláknitá deska UdiSPEED**

**Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	Fermacell Vapo	0.0150	0.3200	1000.0	1250.0	200.0	0.0000



## DISERTAČNÍ PRÁCE

2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.2300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Dřevovlaknita	0.0400	0.0500	1400.0	240.0	5.0	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :****Teplný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**Teplný odpor konstrukce R : 8.57 m<sup>2</sup>K/WSoučinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.114 W/m<sup>2</sup>K**Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.30 °CTeplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rs,p</sub> : 0.972**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl. [°C]:	19.3	19.1	15.2	-7.7	-11.6	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1309	346	324	243	222	158	138
p <sub>sat</sub> [Pa]:	2238	2212	1726	317	224	168	167

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry G<sub>d</sub> : 6.425E-0008 kg/m<sup>2</sup>s**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:****Roční cyklus č. 1**

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

**VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)****Rekapitulace vstupních dat**

Návrhová vnitřní teplota T <sub>i</sub> :	20,0 °C
Převažující návrhová vnitřní teplota T <sub>iM</sub> :	20,0 °C
Návrhová venkovní teplota T <sub>ae</sub> :	-15,0 °C
Teplota na vnější straně T <sub>e</sub> :	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T <sub>ai</sub> :	20,3 °C
Relativní vlhkost v interiéru RH <sub>i</sub> :	50,0 % (+5,0%)

**Skladba konstrukce**

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Fermacell Vapor	0,015	0,320	200,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,230	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovlaknita deska UDISPEED	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

**I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**Požadavek: f<sub>Rs,i,N</sub> = f<sub>Rs,i,cr</sub> = 0,745Vypočtená průměrná hodnota: f<sub>Rs,i,m</sub> = 0,972Kritický teplotní faktor f<sub>Rs,i,cr</sub> byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota f<sub>Rs,i,m</sub> (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

**II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**Požadavek: U<sub>N</sub> = 0,30 W/m<sup>2</sup>KVypočtená hodnota: U = 0,11 W/m<sup>2</sup>K**U < U<sub>N</sub> ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.**

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

**III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu M<sub>c,a</sub> musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>.rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V kci nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

**POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.****• Skladba Fermacell VAPOR + Climatizer Plus + VELOX****Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	Fermacell Vapo	0,0150	0,3200	1000,0	1250,0	200,0	0.0000

## DISERTAČNÍ PRÁCE

2	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
3	Climatizer Plu	0,2300	0,0400	1993,9	39,7	1,1	0.0000
4	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
5	Desky Velox WS	0,0250	0,1100	1580,0	570,0	13,7	0.0000
6	Baumit vnější	0,0050	0,8000	850,0	1800,0	12,0	0.0000

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :****Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**Teplotní odpor konstrukce R : 8.00 m<sup>2</sup>K/WSoučinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.122 W/m<sup>2</sup>K**Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.24 CTeplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : 0.970**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl. [C]:	19.2	19.0	14.8	-9.6	-13.8	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1309	382	361	283	263	157	138
p <sub>sat</sub> [Pa]:	2229	2201	1688	268	183	168	167

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond. zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/m <sup>2</sup> s]
1	0.3650	0.3650	4.415E-0008

**Celoroční bilance vlhkosti:**Množství zkondenzované vodní páry M<sub>c,a</sub>: 0.053 kg/m<sup>2</sup>,rokMnožství vypařitelné vodní páry M<sub>ev,a</sub>: 4.917 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:****Roční cyklus č. 1**

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

**VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)****Rekapitulace vstupních dat**

Návrhová vnitřní teplota T <sub>i</sub> :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota T <sub>iM</sub> :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota T <sub>ae</sub> :	-15,0 C
Teplota na vnější straně T <sub>e</sub> :	-15,0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu T <sub>ai</sub> :	20,3 C
Relativní vlhkost v interiéru RH <sub>i</sub> :	50,0 % (+5,0%)

**Skladba konstrukce**

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Fermacell Vapor	0,015	0,320	200,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,230	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Desky Velox WS	0,025	0,110	13,7
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

**I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**Požadavek: f<sub>Rsi,N</sub> = f<sub>Rsi,cr</sub> = 0,745Vypočtená průměrná hodnota: f<sub>Rsi,m</sub> = 0,970Kritický teplotní faktor f<sub>Rsi,cr</sub> byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).Průměrná hodnota f<sub>Rsi,m</sub> (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

**II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**Požadavek: U<sub>N</sub> = 0,30 W/m<sup>2</sup>KVypočtená hodnota: U = 0,12 W/m<sup>2</sup>K**U < U<sub>N</sub> ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.**

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

**III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu M<sub>c,a</sub> musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>.rok,

## DISERTAČNÍ PRÁCE

nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m<sup>2</sup>,rok  
(materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m<sup>2</sup>,rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0531$  kg/m<sup>2</sup>,rok

Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 4,9166$  kg/m<sup>2</sup>,rok

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

## • Skladba OSB 200 ( $\mu=200$ ) + Climatizer Plus + VELOX

### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m <sup>3</sup> ]	Mi[-]	Ma[kg/m <sup>2</sup> ]
1	OSB desky	0.0150	0.1300	1700.0	650.0	200.0	0.0000
2	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
3	Climatizer Plu	0.2300	0.0400	1993.9	39.7	1.1	0.0000
4	Climatizer Plu	0.0600	0.0610	2092.4	94.6	1.1	0.0000
5	Desky Velox WS	0.0250	0.1100	1580.0	570.0	13.7	0.0000
6	Baumit vnější	0.0050	0.8000	850.0	1800.0	12.0	0.0000

### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

#### Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 8.07 m<sup>2</sup>K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.121 W/m<sup>2</sup>K

#### Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si,p}$  : 19.24 °C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p}$  : 0.970

#### Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[°C]:	19.2	18.8	14.6	-9.7	-13.8	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1309	382	361	283	263	157	138
p,sat [Pa]:	2230	2163	1661	267	183	168	167

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/m <sup>2</sup> s]
1	0.3650	0.3650	4.424E-0008

#### Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a}$ : 0.054 kg/m<sup>2</sup>,rok

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a}$ : 4.914 kg/m<sup>2</sup>,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 °C.

#### Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

##### Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

### Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 °C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 °C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 °C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 °C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

### Skladba konstrukce

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	OSB desky	0,015	0,130	200,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,230	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Desky Velox WS	0,025	0,110	13,7
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

### I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)

Požadavek:  $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,745$

Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi,m} = 0,970$

Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi,cr}$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost

na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota  $fR_{si,m}$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

## II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)

Požadavek:  $U, N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota:  $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U, N \dots$  POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

## III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než  $0,1 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$ , nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí:  $0,341 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$   
(materiál: Climatizer Plus 1).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu:  $0,100 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0536 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 4,9139 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a} \dots$  2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N} \dots$  3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

## • Skladba Flexibuild + Climatizer Plus + VELOX UdiSPEED

### Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	Flexibuild	0,0150	0,1800	1560,0	750,0	300,0	0.0000
2	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
3	Climatizer Plu	0,2300	0,0400	1993,9	39,7	1,1	0.0000
4	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
5	Desky Velox WS	0,0250	0,1100	1580,0	570,0	13,7	0.0000
6	Baumit vnější	0,0050	0,8000	850,0	1800,0	12,0	0.0000

### TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

#### Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce  $R : 8.03 \text{ m}^2\text{K/W}$

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U : 0.122 \text{ W/m}^2\text{K}$

#### Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si,p} : 19.24 \text{ C}$

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f, R_{si,p} : 0.970$

#### Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[C]:	19.2	18.9	14.7	-9.7	-13.8	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1309	313	298	242	228	152	138
p,sat [Pa]:	2229	2181	1673	267	183	168	167

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství
číslo	levá [m] pravá	vodní páry [kg/m2s]
1	0.3650 0.3650	2.377E-0008

#### Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} : 0.021 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Množství vypařitelné vodní páry  $M_{ev,a} : 4.933 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než  $-5.0 \text{ C}$ .

#### Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

##### Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)

### Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 C

## DISERTAČNÍ PRÁCE

Teplota na vnější straně  $T_e$ : -15,0 C  
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu  $T_{ai}$ : 20,3 C  
 Relativní vlhkost v interiéru  $RH_i$ : 50,0 % (+5,0%)

**Skladba konstrukce**

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Flexibuild	0,015	0,180	300,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,230	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Desky Velox WS	0,025	0,110	13,7
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

**I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**

Požadavek:  $f_{Rsi}, N = f_{Rsi}, cr = 0,745$

Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi}, m = 0,970$

Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi}, cr$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota  $f_{Rsi}, m$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

**II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**

Požadavek:  $U, N = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota:  $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U, N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

**III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než 0,1 kg/m<sup>2</sup>.rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).
- Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzační zóně činí: 0,341 kg/m<sup>2</sup>.rok (materiál: Climatizer Plus 1).
- Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0,100 kg/m<sup>2</sup>.rok
- Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.
- Roční množství zkondenzované vodní páry  $M_{c,a} = 0,0213 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$
- Roční množství odpařitelné vodní páry  $M_{ev,a} = 4,9332 \text{ kg/m}^2, \text{rok}$

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$  ... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$  ... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

## • Skladba Flexibuild + Climatizer Plus + dřevovláknitá deska UdiSPEED

**Skladba konstrukce (od interiéru) :**

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m3]	Mi[-]	Ma[kg/m2]
1	Flexibuild	0,0150	0,1800	1560,0	750,0	300,0	0.0000
2	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
3	Climatizer Plu	0,2300	0,0400	1993,9	39,7	1,1	0.0000
4	Climatizer Plu	0,0600	0,0610	2092,4	94,6	1,1	0.0000
5	Dřevovláknitá	0,0400	0,0500	1400,0	240,0	5,0	0.0000
6	Baumit vnější	0,0050	0,8000	850,0	1800,0	12,0	0.0000

**TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :****Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Tepelný odpor konstrukce  $R : 8.61 \text{ m}^2\text{K/W}$

Součinitel prostupu tepla konstrukce  $U : 0.114 \text{ W/m}^2\text{K}$

**Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:**

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách  $T_{si,p} : 19.31 \text{ C}$

Teplotní faktor v návrhových podmínkách  $f_{Rsi,p} : 0.972$

**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:**

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl. [C]:	19.3	19.0	15.1	-7.7	-11.6	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1309	285	270	213	198	152	138
p,sat [Pa]:	2239	2193	1713	317	224	168	167

Při venkovní návrhové teplotě nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry  $G_d : 4.552\text{E-}0008 \text{ kg/m}^2\text{s}$

**Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:****Roční cyklus č. 1**

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

STOP, Teplo 2011

**VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PODLE KRITÉRIÍ ČSN 730540-2 (2011)****Rekapitulace vstupních dat**

Návrhová vnitřní teplota $T_i$ :	20,0 °C
Převažující návrhová vnitřní teplota $T_{iM}$ :	20,0 °C
Návrhová venkovní teplota $T_{ae}$ :	-15,0 °C
Teplota na vnější straně $T_e$ :	-15,0 °C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu $T_{ai}$ :	20,3 °C
Relativní vlhkost v interiéru $R_{Hi}$ :	50,0 % (+5,0%)

**Skladba konstrukce**

Číslo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Flexibuild	0,015	0,180	300,0
2	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
3	Climatizer Plus 1	0,230	0,040	1,1
4	Climatizer Plus 1	0,060	0,061	1,1
5	Dřevovláknitá Udispeed	0,040	0,050	5,0
6	Baumit vnější štuková omítka	0,005	0,800	12,0

**I. Požadavek na teplotní faktor (čl. 5.1 v ČSN 730540-2)**

Požadavek:  $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0,745$

Vypočtená průměrná hodnota:  $f_{Rsi,m} = 0,972$

Kritický teplotní faktor  $f_{Rsi,cr}$  byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota  $f_{Rsi,m}$  (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce.

Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

**II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (čl. 5.2 v ČSN 730540-2)**

Požadavek:  $U_{N} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota:  $U = 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U_N$  ... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

**III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (čl. 6.1 a 6.2 v ČSN 730540-2)**

- Požadavky:
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
  2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu.
  3. Roční množství kondenzátu  $M_{c,a}$  musí být nižší než  $0,1 \text{ kg/m}^2\text{.rok}$ , nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Vypočtené hodnoty: V kci nedochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

POŽADAVKY JSOU SPLNĚNY.

Teplo 2011, (c) 2011 Svoboda Software

**14.4 Výstupní protokoly z 2D výpočtů**

Zkrácené výstupní protokoly zobrazují výsledky dosažené pro obvodový plášť základní skladby (viz. výše) s různou šířkou izolace Climatizer Plus. Doložené výsledky z [46] a jsou zdrojem dat např. do Tab. 19.

- Tloušťka tepelné izolace 150 mm (Climatizer Plus)**

**Zadané materiály :**

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	5	45
2	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	5	21
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	5	21
4	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	29	45
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	29	45
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	5	45
7	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	5

## DISERTAČNÍ PRÁCE

8	Dřevovláknité d	0.050	0.050	5.000	5.000	1	43	45	61
<u>Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :</u>									
číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]			
1	1	2563	20.00	0.13	1.29	10.00			
2	61	2623	-15.00	0.04	0.14	20.00			

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	18.07	4.98265	0.14236
2	-15.0	0.04	84	-14.72	-4.98264	0.14236

- Tloušťka tepelné izolace 200 mm (Climatizer Plus)**

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	5	53
2	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	5	21
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	5	21
4	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	37	53
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	37	53
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	5	53
7	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	5
8	Dřevovláknité d	0.050	0.050	5.000	5.000	1	43	53	61

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]			
1	1	2563	20.00	0.13	1.29	10.00			
2	61	2623	-15.00	0.04	0.14	20.00			

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	18.59	3.81382	0.10897
2	-15.0	0.04	84	-14.78	-3.81382	0.10897

- Tloušťka tepelné izolace 250 mm (Climatizer Plus)**

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	3	51
2	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	3	11
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	3	11
4	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	43	51
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	43	51
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	3	51
7	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	3
8	Dřevovláknité d	0.050	0.050	5.000	5.000	1	43	51	59

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]			
1	1	2479	20.00	0.13	1.29	10.00			
2	59	2537	-15.00	0.04	0.14	20.00			

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	18.88	3.09967	0.08856
2	-15.0	0.04	84	-14.82	-3.09966	0.08856

- Tloušťka tepelné izolace 300 mm (Climatizer Plus)**

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	3	51
2	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	3	11
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	3	11
4	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	43	51
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	43	51
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	3	51
7	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	3
8	Dřevovláknité d	0.050	0.050	5.000	5.000	1	43	51	59

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

## DISERTAČNÍ PRÁCE

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]
1	1	2479	20.00	0.13	1.29	10.00
2	59	2537	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	19.07	2.61290	0.07465
2	-15.0	0.04	84	-14.84	-2.61291	0.07465

- Tloušťka tepelné izolace 350 mm (Climatizer Plus)**

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	3	51
2	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	3	51
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	43	51
4	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	43	51
5	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	3
6	Dřevovláknité d	0.050	0.050	5.000	5.000	1	43	51	59
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	3	11
8	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	3	11

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]
1	1	2479	20.00	0.13	1.29	10.00
2	59	2537	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	19.20	2.25893	0.06454
2	-15.0	0.04	84	-14.86	-2.25893	0.06454

- Tloušťka tepelné izolace 400 mm (Climatizer Plus)**

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	3	51
2	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	3	11
3	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	3
4	Dřevovláknité d	0.050	0.050	5.000	5.000	1	43	51	59
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	3	11
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	3	51
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	43	51
8	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	43	51

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]
1	1	2479	20.00	0.13	1.29	10.00
2	59	2537	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	19.30	1.99001	0.05686
2	-15.0	0.04	84	-14.88	-1.99001	0.05686

- Tloušťka tepelné izolace 450 mm (Climatizer Plus)**

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	3	51
2	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	3	11
3	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	3
4	Dřevovláknité d	0.050	0.050	13	13	1	43	51	55
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	3	11
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	3	51
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	43	51
8	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	43	51

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]
1	1	2311	20.00	0.13	1.29	10.00



2 55 2365 -15.00 0.04 0.14 20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	19.37	1.77837	0.05081
2	-15.0	0.04	84	-14.89	-1.77837	0.05081

• **Tloušťka tepelné izolace 500 mm (Climatizer Plus)**Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Dřevovláknité d	0.050	0.050	13	13	1	43	51	55
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	3	51
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	3	11
4	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	3
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	3	11
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	3	51
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	43	51
8	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	43	51

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]
1	1	2311	20.00	0.13	1.29	10.00
2	55	2365	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	19.43	1.60746	0.04593
2	-15.0	0.04	84	-14.90	-1.60745	0.04593

• **Tloušťka tepelné izolace 550 mm (Climatizer Plus)**Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Dřevovláknité d	0.050	0.050	13	13	1	43	51	55
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	3	51
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	3	11
4	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	3
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	3	11
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	3	51
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	43	51
8	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	43	51

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]
1	1	2311	20.00	0.13	1.29	10.00
2	55	2365	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	19.48	1.46655	0.04190
2	-15.0	0.04	84	-14.91	-1.46654	0.04190

• **Tloušťka tepelné izolace 600 mm (Climatizer Plus)**Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Dřevovláknité d	0.050	0.050	13	13	1	43	42	46
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	2	42
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	2	6
4	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	2
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	2	6
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	2	42
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	38	42
8	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	38	42

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]
1	1	1933	20.00	0.13	1.29	10.00
2	46	1978	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	19.53	1.34865	0.03853
2	-15.0	0.04	84	-14.92	-1.34866	0.03853

- Tloušťka tepelné izolace 650 mm (Climatizer Plus)**

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Dřevovláknité d	0.050	0.050	13	13	1	43	42	46
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	43	2	42
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	2	6
4	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	43	1	2
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	2	6
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	23	2	42
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	38	42
8	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	23	27	38	42

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]
1	1	1933	20.00	0.13	1.29	10.00
2	46	1978	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	19.56	1.24806	0.03566
2	-15.0	0.04	84	-14.92	-1.24807	0.03566

- Tloušťka tepelné izolace 700 mm (Climatizer Plus)**

Zadané materiály :

č.	Název	LambdaX	LambdaY	MiX	MiY	X1	X2	Y1	Y2
1	Dřevovláknité d	0.050	0.050	13	13	1	42	42	46
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	1.100	1.100	1	42	2	42
3	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	2	6
4	OSB desky	0.130	0.130	50	50	1	42	1	2
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	22	26	2	6
6	OSB desky	0.130	0.130	50	50	21	22	2	42
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	17	21	38	42
8	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	157	157	22	26	38	42

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	Pd [kPa]	h,p [s/m]
1	1	1887	20.00	0.13	1.29	10.00
2	46	1932	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W/m]	Propust. L [W/mK]
1	20.0	0.13	50	19.59	1.16149	0.03319
2	-15.0	0.04	84	-14.93	-1.16150	0.03319

## 14.5 Výstupní protokoly z 3D výpočtů

Zkrácené výstupní protokoly zobrazují výsledky dosažené pro segment obvodové pláště základní skladby (viz. výše) s šířkou izolace Climatizer Plus 350 mm. Doložené výsledky z [47] a jsou zdrojem dat např. do Tab. 24 . Grafické výstupy vyobrazují Obr. 60 až Obr. 65.

- Segment obvodového pláště bez tepelného mostu - tepelný tok**

Zadané materiály :

č.	Název	Lambda [W/mK]			Faktor Mi [-]	Zdroj	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2
1	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	-	1	2	1	2	1
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	0.038	1.10	1.10	-	1	2	2	3	1
3	Dřevovláknité d	0.050	0.050	0.050	5.00	5.00	-	1	2	3	4	1

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	p [kPa]	h,p [10 <sup>-9</sup> s/m]
1	1	10	20.00	0.13	1.29	10.00

## DISERTAČNÍ PRÁCE

2 7 16 -15.00 0.04 0.14 20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L [W/K]
1	20.0	0.13	50	19.56	3.05947	0.08741
2	-15.0	0.04	84	-14.86	-3.05947	0.08741

- Segment obvodového pláště bez tepelného mostu - kondenzace**

Zadané materiály :

č.	Název	Lambda [W/mK]			Faktor Mi [-]	Zdroj	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2
1	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	1	2	1	2
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	0.038	1.10	1.10	1.10	-	1	2	3	1
3	Dřevovláknité d	0.050	0.050	0.050	5.00	5.00	5.00	-	1	2	3	4

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	p [kPa]	h,p [10 <sup>-9</sup> s/m]
1	1	10	20.30	0.25	1.31	10.00
2	7	16	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:**

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	9.54	19.45	0.976	ne	---	---
2	-16.87	-14.86	0.996	ne	---	---

**TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:**

Množství vstupující do konstrukce: 1.6E-0007 kg/s.

Množství vystupující z konstrukce: 6.1E-0008 kg/s.

Množství kondenzující vodní páry: 1.0E-0007 kg/s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztahena k zadanému detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

**ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:**

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

STOP, Cube3D 2010

- Segment obvodového pláště s nosníkem s plnou stojinou - tepelný tok**

Zadané materiály :

č.	Název	Lambda [W/mK]			Faktor Mi [-]	Zdroj	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2
1	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	1	15	1	2
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	0.038	1.10	1.10	1.10	-	1	15	2	6
3	Dřevovláknité d	0.050	0.050	0.050	5.00	5.00	5.00	-	1	15	6	7
4	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	5	7	2	3
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	5	7	5	6
6	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	9	11	2	3
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	9	11	5	6
8	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	7	9	2	6

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	p [kPa]	h,p [10 <sup>-9</sup> s/m]
1	1	204	20.00	0.13	1.29	10.00
2	7	210	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L [W/K]
1	20.0	0.13	50	19.19	3.39530	0.09701
2	-15.0	0.04	84	-14.86	-3.39531	0.09701

- Segment obvodového pláště s nosníkem s plnou stojinou - kondenzace**

Zadané materiály :

č.	Název	Lambda [W/mK]			Faktor Mi [-]	Zdroj	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2
1	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	1	15	1	2
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	0.038	1.10	1.10	1.10	-	1	15	2	6
3	Dřevovláknité d	0.050	0.050	0.050	5.00	5.00	5.00	-	1	15	6	7
4	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	5	7	2	3
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	5	7	5	6
6	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	9	11	2	3
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	9	11	5	6
8	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	7	9	2	6

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	p [kPa]	h,p [10 <sup>-9</sup> s/m]
1	1	204	20.30	0.25	1.31	10.00
2	7	210	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLOTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:**

## DISERTAČNÍ PRÁCE

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	9.54	18.84	0.959	ne	---	---
2	-16.87	-14.86	0.996	ne	---	---

**TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:**

Množství vstupující do konstrukce: 1.5E-0007 kg/s.

Množství vystupující z konstrukce: 5.7E-0008 kg/s.

Množství kondenzující vodní páry: 8.8E-0008 kg/s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k zadanému detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

**ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:**

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

STOP, Cube3D 2011

- Segment obvodového pláště s prolamovaným nosníkem - tepelný tok**

**Zadané materiály :**

č.	Název	Lambda [W/mK]			Faktor Mi [-]	Zdroj	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2		
1	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	1	15	1	2	1	7
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	0.038	1.10	1.10	1.10	-	1	15	2	6	1	7
3	Dřevovláknité d	0.050	0.050	0.050	5.00	5.00	5.00	-	1	15	6	7	1	7
4	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	5	7	2	3	1	7
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	5	7	5	6	1	7
6	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	9	11	2	3	1	7
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	9	11	5	6	1	7
8	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	7	9	2	6	2	3
9	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	7	9	2	6	4	5
10	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	7	9	2	6	6	7

**Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :**

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	p [kPa]	h,p [10^9 s/m]
1	1	729	20.00	0.13	1.29	10.00
2	7	735	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU:**

Prostředí	T [C]	Rs [m2K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L [W/K]
1	20.0	0.13	50	19.23	3.29517	0.09415
2	-15.0	0.04	84	-14.87	-3.29515	0.09415

- Segment obvodového pláště s prolamovaným nosníkem - kondenzace**

**Zadané materiály :**

č.	Název	Lambda [W/mK]			Faktor Mi [-]	Zdroj	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2		
1	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	1	15	1	2	1	7
2	Climatizer Plus	0.038	0.038	0.038	1.10	1.10	1.10	-	1	15	2	6	1	7
3	Dřevovláknité d	0.050	0.050	0.050	5.00	5.00	5.00	-	1	15	6	7	1	7
4	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	5	7	2	3	1	7
5	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	5	7	5	6	1	7
6	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	9	11	2	3	1	7
7	Dřevo měkké (to	0.180	0.180	0.180	157	157	157	-	9	11	5	6	1	7
8	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	7	9	2	6	2	3
9	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	7	9	2	6	4	5
10	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	7	9	2	6	6	7

**Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :**

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	p [kPa]	h,p [10^9 s/m]
1	1	729	20.30	0.25	1.31	10.00
2	7	735	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

**NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty, TEPLTNÍ FAKTORY A RIZIKO KONDENZACE:**

Prostředí	Tw [C]	Ts,min [C]	f,Rsi [-]	KOND.	RH,max [%]	T,min [C]
1	9.54	18.92	0.961	ne	---	---
2	-16.87	-14.87	0.996	ne	---	---

**TOKY DIFUNDUJÍCÍ VODNÍ PÁRY PŘI ZADANÝCH PODMÍNKÁCH:**

Množství vstupující do konstrukce: 1.5E-0007 kg/s.

Množství vystupující z konstrukce: 5.9E-0008 kg/s.

Množství kondenzující vodní páry: 9.3E-0008 kg/s.

Poznámka: Uvedená množství jsou vztažena k zadanému detailu a platí pro zadané okrajové podmínky. Množství vodní páry vstupující do konstrukce bylo stanoveno pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 10.e-9 s/m. Množství vystupující z konstrukce pak pro povrchy se souč. přestupu vodní páry 20.e-9 s/m. Ostatní povrchy se ve výpočtu neuplatnily.

**ROČNÍ BILANCE ZKONDENZOVANÉ A VYPAŘENÉ VODNÍ PÁRY:**

Během modelového roku nedochází v detailu ke kondenzaci vodní páry.

STOP, Cube3D 2010